

Dottorato di ricerca in psicologia, antropologia e scienze cognitive  
XXXI CICLO

ANNO ACCADEMICO: 2018/2019

# Validazione di un modello probabilistico degli span complessi basato sulla Theory of Constructive Operators

Lorenzo Muscella

Tutor: Sergio Morra

# Indice

1. Cosa limita la memoria di lavoro? .....	3
Decadimento temporale.....	4
Interferenza .....	6
Risorse centrali.....	8
Analisi critica delle ipotesi .....	9
Set size effect.....	12
Effetti dell'intervallo di ritenzione e dell'elaborazioni di distrattori .....	13
Differenze individuali .....	16
Vantaggi della modellizzazione: un problema epistemologico .....	18
2. Teoria degli Operatori Costruttivi.....	19
Contesto teorico: crisi del paradigma neopiagetiano .....	19
Elementi essenziali della TCO.....	21
Task Analysis.....	23
Dalla Task Analysis ai modelli probabilistici .....	24
3. Verso un modello probabilistico degli span complessi .....	28
3.1 Esperimento 1 .....	29
Metodo .....	29
Risultati.....	39
3.2 Esperimento 2 .....	48
Metodo .....	49
Risultati.....	49
4. Simulazioni dei modelli .....	56
5. Conclusioni .....	69

# 1. Cosa limita la memoria di lavoro?

Sono trascorsi più di 40 anni dall'elaborazione del famoso modello di Working Memory di Baddeley & Hitch (1974). In queste decadi sono stati elaborati numerosi modelli e teorie che si differenziano tra loro in maniera sostanziale sotto molti punti di vista. Oberauer, Farrell, Jarrold & Lewandowsky (2016) tentano di fornire una definizione generale che possa essere accettata dalle diverse prospettive che hanno studiato questo costrutto: *“la WM è un sistema che mantiene attive le rappresentazioni mentali soggette a elaborazione. La sua capacità è soggetta a limiti e tali limiti vincolano la complessità dei pensieri che possiamo produrre.”*(p. 1) .

I paradigmi più utilizzati per la misurazione della WM sono gli span complessi; sono costituiti da un compito principale di memorizzazione e un compito secondario di elaborazione di informazioni che interferisce con il compito principale. Tra le molteplici variazioni di tale categoria di paradigmi ricordiamo, a titolo esemplificativo, il Counting Span (Case, Kurland, & Goldberg, 1982). In questo test vengono mostrati ai soggetti insiemi di pallini colorati: il loro compito è contare ad alta voce i pallini e ricordarne la quantità per ciascun insieme presentato. Nella prima versione del Reading Span (Daneman & Carpenter, 1980) i soggetti devono leggere un numero crescente di frasi e ricordarne l'ultima parola. Gli span complessi sono buoni predittori della performance in un'ampia gamma di compiti, tra cui test d'intelligenza fluida (Conway, Kane, Engle, 2003), comprensione del testo (Daneman & Merikle, 1996), Stroop (Kane & Engle, 2002) e anti-saccade (Unsworth, Schrock, Engle, 2004).

Nell'ultima decade uno degli argomenti affrontati dalla ricerca sulla WM è stata l'analisi degli span complessi. Lo studio di questa tipologia di paradigmi ha permesso di indagare in maniera inedita molti aspetti del funzionamento, il più importante dei quali riguarda la natura stessa dei limiti della capacità della WM (Oberauer et al., 2016): quali fattori intervengono nel limitare il numero di elementi che gli esseri umani possono ricordare ed elaborare allo stesso tempo? Oberauer e colleghi (2016) individuano tre influenti ipotesi riguardo alla natura della WM: decadimento temporale, risorse centrali limitate e interferenza. Tali ipotesi hanno generato interpretazioni diverse riguardo i punti centrali della ricerca sulla WM e costituiscono la base concettuale di numerose teorie e modellizzazioni; nei prossimi paragrafi verranno analizzate le tre ipotesi generali sopra citate e saranno presentati tre modelli di WM basati rispettivamente su ciascuna di esse.

## Decadimento temporale

Tale ipotesi si basa sull'assunto che le informazioni codificate in memoria di lavoro perdono attivazione rapidamente nel corso del tempo; tuttavia tale decadimento può essere arrestato da due processi:

- Rehearsal: per quanto riguarda la ritenzione del materiale verbale (Baddeley et al, 1975), consiste nella ripetizione subvocalica dei memoranda; è stato ipotizzato anche un meccanismo di rehearsal visuo-spaziale basato su un meccanismo di orientamento spaziale dell'attenzione visiva (Awh, Jonides, & Reuter-Lorenz, 1998).
- Refreshing: l'assunto centrale di questo meccanismo è che il decadimento dei memoranda in WM può essere arrestato attraverso l'orientamento di risorse attentive su di essi. Tali risorse attentive sono dominio generali e a capacità limitata (Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe, & Camos, 2007).

In generale si può affermare che nei modelli basati sul decadimento temporale i limiti della memoria di lavoro sono generati dall'interazione tra il decadimento temporale e i meccanismi di riattivazione sopra indicati. Si assiste all'oblio delle tracce mnestiche se il rehearsal o il refreshing non riescono a riattivare i memoranda prima che lo scorrere del tempo li abbia resi completamente inutilizzabili.

Barrouillet, Portrat e Camos (2012) hanno elaborato il Time Based Resource Sharing model, un modello di WM basato sul decadimento temporale, in cui le risorse attentive, attraverso i processi di refreshing, giocano un ruolo centrale. Tale modello è stato sottoposto a simulazioni computerizzate che hanno fornito risultati promettenti, soprattutto per quanto riguarda doppi compiti come gli span complessi.

Il modello si basa su 4 presupposti principali:

1. Elaborazione e immagazzinamento condividono le stesse risorse attentive dominio generali.
2. Le tracce mnestiche perdono attivazione in funzione del tempo in cui le risorse attentive non sono allocate su di esse. Possono riacquistare attivazione con il dispendio di risorse attentive, attraverso operazioni di refreshing.
3. Le risorse attentive sono limitate e costituiscono un bottleneck centrale.
4. Durante l'esecuzione di uno span complesso l'attenzione compie processi di switching dal compito di elaborazione a quello di memorizzazione.

Il modello di Barrouillet, Portrat e Camos (2011) ha come variabile fondamentale la porzione di tempo in cui le risorse sono destinate completamente all'elaborazione degli item del compito

secondario. Solamente durante questa porzione di tempo le risorse attentive sarebbero totalmente sottratte alle operazioni di refreshing degli elementi memorizzati, che quindi perderebbero gradualmente attivazione. Tale variabile viene definita Cognitive Load, ed è formalizzata dalla seguente equazione:

$$CL = aN/T \approx \sum RT/T$$

dove  $N$  è il numero di item da elaborare,  $a$  è la durata dell'elaborazione di ciascun item e  $T$  è il tempo totale disponibile per lo svolgimento del compito. Per calcolare il CL viene utilizzata la somma dei tempi di risposta agli item del compito interferente, poiché secondo gli autori in questa porzione di tempo le risorse cognitive vengono interamente utilizzate per l'elaborazione della risposta e non possono essere utilizzate per operazioni di refreshing.

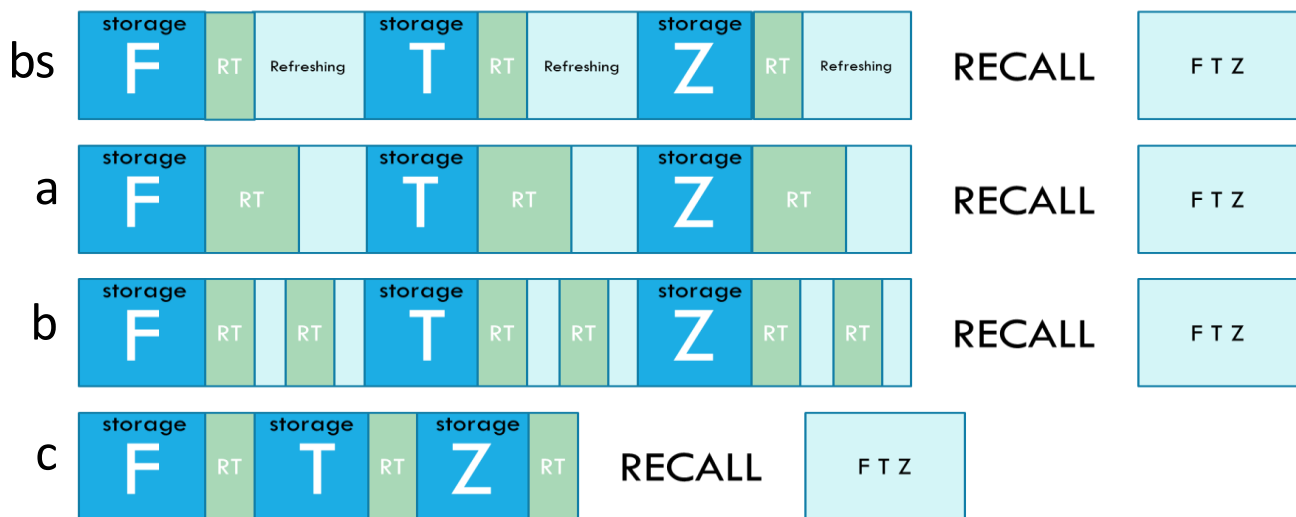


Figura 1.1 Esempi di condizioni in cui si modifica CL agendo su tempi di risposta e spazio interlettera

Rispetto a una condizione di baseline (Figura 1.1) si può aumentare il CL di un compito di span complesso in 3 modi:

(Fig.a) mantenendo costante il tempo che intercorre tra la presentazione di due lettere e aumentando il numero di item nel compito di processing;

(Fig.b) mantenendo tempo inter-lettera e numero di item costanti e aumentando la difficoltà di quest'ultimi; in altre parole, inserendo un compito di processing la cui soluzione richiede tempi di risposta più alti;

(Fig.c) mantenendo difficoltà e numero di item costanti e diminuendo il tempo inter-lettera (*pace effect*).

Il modello di TBRS predice inoltre che, poiché le risorse attentive sono dominio generali, gli effetti sopra elencati emergono anche quando i materiali dei compiti di memorizzazione e processing

appartengono a domini diversi. Queste predizioni sono state sottoposte con successo a numerose verifiche sperimentali. (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004; Barrouillet, Bernardin, Portrat, Vergauwe, & Camos, 2007, Vergauwe, Barrouillet, & Camos, 2009; Vergauwe, Dewaele, Langerock & Barrouillet 2012)

Più recentemente Barrouillet, Portrat e Camos (2011) hanno elaborato la seguente equazione:

$$Span = k (1 - CL)$$

Secondo questa equazione con  $CL=0$  si ha uno span di valore  $k$ , che come è stato confermato dall'esperimento di Barrouillet, Portrat e Camos (2011) si aggira attorno alle 7 unità negli adulti (Miller, 1956). Lo span diminuisce all'aumentare del CL, secondo una relazione lineare negativa.

Questo modello risulta essere il primo che formalizza una relazione tra compito di elaborazione e compito di immagazzinamento, tale per cui è possibile fare previsioni sulla caduta dei soggetti nel compito mnestico, in funzione del CL e dello span dei soggetti.

Barrouillet e colleghi hanno anche avanzato alcune ipotesi riguardanti lo sviluppo della WM durante l'infanzia. Gaillard, Barrouillet, Jarrold & Camos (2011) sostengono che intorno ai 7 anni di età si sviluppi la funzione di micro-switching che permette alle risorse attentive di essere ricollocate velocemente dal compito di storage a quello di processing. Gli ulteriori sviluppi in termini di capacità della memoria di lavoro sarebbero frutto di un miglioramento dell'efficienza e velocità nell'elaborazione e refreshing delle informazioni.

### Interferenza

In generale, questa ipotesi sostiene che i limiti della WM emergano dai processi di interferenza che le rappresentazioni codificate esercitano reciprocamente una sull'altra. Il modello più influente basato su tale ipotesi è il SOB (Oberauer et al. 2012). Secondo tale modello una rappresentazione è un insieme di caratteristiche che costituiscono specifici valori di diverse dimensioni. Per esempio, un cerchio blu è definito dalla dimensione "forma" che assume il valore della caratteristica "cerchio" e dalla dimensione "colore" che assume il valore della caratteristica "blu". È possibile interpretare i livelli di interferenza delle rappresentazioni in WM utilizzando il grado di sovrapposizione delle dimensioni delle caratteristiche, ossia la proporzione di dimensioni in comune tra due o più rappresentazioni, e la somiglianza, ossia la proporzione di caratteristiche che due o più rappresentazioni hanno in comune. Per esempio, un quadrato blu e un cerchio rosso avranno in comune due dimensioni (forma e colore) ma nessuna caratteristica. L'interazione tra sovrapposizione delle dimensioni e somiglianza genera interferenza tra le rappresentazioni

attraverso tre diversi meccanismi ampiamente studiati da Oberauer e colleghi (2012) attraverso simulazioni computerizzate:

- **Confusion:** tale modalità di interferenza è interpretabile utilizzando il paradigma del recupero delle informazioni in memoria chiamato “competitive queuing”. Secondo questa ipotesi viene recuperato in memoria l’item con il livello di attivazione più alto rispetto agli altri item. Si assiste ad interferenza per confusione quando l’item target ha livelli di attivazioni simili o più bassi rispetto agli item distraenti. Il livello di attivazione di un item può essere influenzato da molte variabili tra cui, innanzitutto, le caratteristiche dello stimolo stesso. Minore è il grado di sovrapposizione delle dimensioni e di somiglianza tra gli item minore sarà la possibilità che queste interferiscano tra di loro con un meccanismo di confusion.
- **Superposition:** in una rete neurale le rappresentazioni sono costituite da pattern di attivazione di un set di nodi. Quando vengono codificate diverse rappresentazioni simultaneamente i pattern di attivazione si sovrappongono per cui ciascun pattern viene distorto dall’altro, rendendone più difficile il recupero. Minore è il grado di somiglianza, maggiore sarà l’effetto dell’interferenza per superposition perché due caratteristiche nella stessa dimensione si distorcono in maniera più marcata tanto più i valori in quella stessa dimensione differiscono tra di loro.
- **Feature overwriting:** quando due rappresentazioni codificate in un pattern di attivazioni di un set di nodi di una rete neurale condividono una o più caratteristiche, queste ultime vengono sovrascritte in una delle rappresentazioni. Per esempio, dati due item a e b presentati in ordine seriale che condividono la stessa caratteristica x, durante la codifica la stessa x viene cancellata da a e riscritta su b compromettendo il corretto richiamo di a. Mentre la superposition accade con maggior probabilità con rappresentazioni diverse tra loro, la feature overwriting è più frequente con rappresentazioni simili; infatti, come nel caso della confusion, minore è il grado di sovrapposizioni delle dimensioni e di somiglianza minore sarà l’effetto di interferenza.

Secondo il modello di Oberauer et al. (2012), negli span complessi, il decremento della performance mnemonica è provocato dalla codifica automatica del materiale interferente del compito secondario; l'unica causa del decadimento del materiale memorizzato è l'interferenza tra gli elementi del compito di elaborazione e quelli di immagazzinamento.

Il modello prevede un meccanismo di soppressione del materiale interferente. Tale meccanismo

rimuove dalla WM gli item del compito secondario, eliminandone l'interferenza con il materiale da memorizzare. Questo processo di soppressione può entrare in azione solamente terminata l'elaborazione del compito secondario: minore sarà il tempo a disposizione del meccanismo di soppressione maggiore sarà l'interferenza del compito di elaborazione sul compito di immagazzinamento. Il meccanismo di soppressione ricopre un ruolo simile al refreshing del TBRS model (Barrouillet, et al. 2011), tanto è vero che utilizzando il modello di Oberauer è possibile spiegare le scoperte del gruppo di Barrouillet ed elaborare predizioni riguardo all'effetto del CL sullo span. Il modello di Oberauer et al. (2012) è stato simulato utilizzando una rete neurale a due strati; tale software è stato chiamato dagli autori SOB-CS. Il modello è stato sottoposto a numerose verifiche sperimentali, basate sul confronto tra dati attesi (elaborati dall'output del SOB-CS) e dati derivanti dalla somministrazione a un campione di soggetti. (Lewandowsky & Oberauer, 2009; Oberauer, Lewandowsky, Farrell, Jarrold & Greaves, 2012).

### Risorse centrali

Le risorse centrali possono essere definite come una quantità limitata di attenzione che attiva una funzione cognitiva (e.g. mantenere un'informazione attiva) o un processo (e.g. recupero in memoria o elaborazione di una rappresentazione). Maggiore è la quantità di risorse allocata su tale funzione o processo, maggiore è l'efficienza e la probabilità di successo di quest'ultimo (Oberauer et al., 2016). Un'ulteriore assunzione molto frequente tra modelli basati sulle risorse centrali è che quest'ultime vengano condivise tra elaborazione e immagazzinamento delle informazioni: quando un'operazione cognitiva richiede un alto numero di risorse quest'ultime non potranno essere utilizzate per l'immagazzinamento di informazioni e viceversa. Inoltre molti modelli basati su questa ipotesi definiscono le risorse come dominio generali; in altre parole le risorse vengono allocate a operazioni e rappresentazioni indipendentemente dal dominio (verbale o visuospatiale) di quest'ultime.

Pascual-Leone (1970) ha elaborato la Theory of Constructive Operators, una teoria dello sviluppo cognitivo il cui presupposto principale è un modello di WM a risorse centrali limitate. Secondo tale modello, unità discrete di risorse attentive vengono allocate a rappresentazioni e processi necessari per la soluzione di un compito. I limiti della WM sono determinati dalla quantità di risorse attentive disponibili al soggetto (M capacity). Si assiste ad oblio ed errori quando la richiesta del compito, in termini di unità di attenzione, supera le risorse dei soggetti.

Morra (2000, 2015) ha elaborato un modello probabilistico basato sulla TCO in grado di predire la performance mnestica di un campione di bambini in un compito di memoria a breve termine. Tale



modello può essere adattato a un paradigma di span complesso; i compiti interferenti possono essere interpretati come processi che sottraggono unità di attenzione necessarie all'attivazione degli item da memorizzare.

Il calo della performance nel compito di memorizzazione può essere predetto in funzione del numero:

- delle risorse centrali disponibili al soggetto;
- di item da memorizzare attivati dalle risorse attentive;
- di elementi che dovrebbero essere attivati per eseguire il compito, ma l'M capacity dei soggetti non è sufficiente, e tali elementi perdono gradualmente attivazione e interferiscono tra loro.

Il modello è stato elaborato entro una cornice teorica neopiagetiana ed è quindi possibile utilizzare due strumenti molto importanti che derivano da questa prospettiva. Il primo è la task analysis: un procedimento analitico finalizzato a individuare quali e quanti processi di elaborazione e rappresentazioni vengono utilizzati da un soggetto per la risoluzione di un compito. Ciò permette di quantificare le risorse necessarie per la risoluzione di qualsiasi compito cognitivo: in questo caso verrà applicata agli span complessi (Case, 1985; Morra, 2000; Howard, Johnson & Pascual-Leone, 2013). Il secondo importante strumento predittivo fornito dalla cornice teorica neopiagetiana riguarda l'analisi della crescita delle risorse centrali in età dello sviluppo. Secondo Pascual-Leone (1970) lo sviluppo delle risorse attentive segue un pattern definito e prevedibile: dai 3 anni in poi si assiste, mediamente, ad un aumento di un'unità ogni due anni. È possibile quindi utilizzare questi dati (inserendoli nel modello) per produrre predizioni attendibili della performance di bambini di differenti età.

#### [Analisi critica delle ipotesi](#)

Oberauer e colleghi (2016) hanno portato avanti una minuziosa analisi delle ipotesi dei limiti della WM. Per ciascuna delle tre ipotesi gli autori hanno identificato predizioni che sono state generate o possono essere logicamente dedotte; tali predizioni sono state messe alla prova confrontandole con i dati relativi a fenomeni ampiamente studiati in letteratura che emergono dalla limitazione della capacità di WM:

- Set-size effect: maggiore è il numero di item che viene richiesto di ricordare, peggiore sarà l'accuratezza della performance mnestica. Tale fenomeno è strettamente collegato al concetto di memoria di lavoro come sistema a capacità limitata ed è stato ampiamente replicato (Luck & Vogel, 1997; Miller, 1956; Cowan, 2010);

- Effetti dell'intervallo di ritenzione e dell'elaborazione di distrattori: l'intervallo di ritenzione è il tempo inserito tra la codifica degli item da memorizzare e il richiamo in memoria. Molte misure della WM prevedono un compito distraente come leggere ad alta voce alcune lettere o contare set di pallini inserito nel R.I. Esistono due diversi tipi di paradigmi utilizzati per studiare questo fenomeno:
  - Brown-Peterson paradigm: il retention interval e i distrattori sono inseriti dopo la presentazione dell'intero set di memoranda (J. Brown, 1958; Jarrold, Tam, Baddeley, & Harvey, 2011; Peterson & Peterson, 1959).
  - Complex span paradigm: il retention interval e i distrattori sono inseriti fra un item e un altro (Case et al., 1982; Daneman & Carpenter, 1980).

L'elaborazione di distrattori viene considerata un ulteriore carico in WM che porta così a una riduzione della performance mnestica; vi è un forte consenso circa come tale fenomeno rifletta la capacità limitata del sistema.

- Differenze individuali: ogni ipotesi presa in considerazione dovrebbe generare spiegazioni o altre ipotesi riguardo a fenomeni largamente documentati riguardanti differenze tra soggetti, come ad esempio le differenze legate all'età. D'altra parte, i limiti di capacità della WM si riflettono in un'ampia gamma di paradigmi sperimentali e con diverse tipologie di materiale; studi correlazionali possono gettare luce sulla validità delle predizioni generate dalle diverse ipotesi riguardo a quali misure, paradigmi e contenuti sono correlati maggiormente con le misure di WM.

Il confronto tra predizioni generate dalle ipotesi e i fenomeni sopra elencati può avere i seguenti esiti:

- Il fenomeno è predetto dall'ipotesi;
- Il fenomeno può essere spiegato dall'ipotesi con assunzioni create ad hoc;
- Il fenomeno contraddice l'ipotesi;
- Il fenomeno è compatibile con l'ipotesi ma non aggiunge prove a favore o sfavore.

## The set size effect

### Decadimento temporale

Secondo l'ipotesi del decadimento temporale il set size effect può essere interpretato nel seguente modo: gli item da mantenere in memoria devono essere riattivati sequenzialmente da processi di rehearsal o refreshing. Maggiore è il numero di item da riattivare e maggiore sarà il tempo che tali meccanismi impiegano per riattivare l'intero set, per cui aumenta la possibilità che alcuni item decadano in maniera irreversibile prima che i processi di riattivazione possano intervenire. Tale ipotesi è stata avvalorata dagli esperimenti di Baddely et al. (1975) sulla lunghezza delle parole: in tali paradigmi sperimentali emerge che a parità di numero di parole da ricordare, liste di parole formate da un alto numero di sillabe producono performance mnestiche peggiori che liste di parole con un numero minore di sillabe. Ciò è spiegato dal fatto che le parole più lunghe hanno tempi di articolazione maggiori rispetto a quelle più brevi e, di conseguenza, i meccanismi di rehearsal impiegano un tempo maggiore per riattivare ciascun item, causando più alte percentuali di oblio. D'altra parte, alcuni esperimenti hanno fatto emergere che quando la durata di articolazione e il numero di sillabe o di fonemi vengono manipolati in maniera indipendente, solo il numero di sillabe o fonemi sembra generare performance mnestiche peggiori (Service, 1998). Inoltre, è stato dimostrato che le somiglianze fonologiche tra le parole utilizzate nelle liste possono generare fenomeni di interferenza e quindi influenzare in maniera significativa la relazione tra tempi di articolazione e performance mnestica. Ulteriori dati difficilmente interpretabili dall'ipotesi del decadimento temporale derivano da ricerche che utilizzano paradigmi con retention intervals pari a zero e materiale visuospatiale. In un esperimento di Tsubomi et al. (2013) venivano presentati ai partecipanti set di quadrati colorati e successivamente un singolo quadrato localizzato in una posizione corrispondente a uno dei quadrati dei set precedenti; tale quadrato era colorato di due colori e i partecipanti dovevano scegliere quale di questi due colori corrispondeva a quello del quadrato che nel primo set era disposto nella stessa posizione del quadrato bicolore. Tale procedura avveniva in due condizioni: nella prima tra il set di quadrati colorati e il singolo quadrato era inserito un retention interval di 1 sec, nella seconda il richiamo in memoria era immediato. Gli autori hanno registrato basse percentuali di accuratezza della performance mnestica con set size di numerosità superiore a 3 quadrati in entrambe le condizioni. Tale risultato è in netto contrasto con l'ipotesi del temporal delay, poiché i limiti della WM emergono in maniera decisiva anche nella condizione in cui non è presente un lasso temporale in cui il decadimento delle tracce può avvenire.

## Resources

L'ipotesi delle risorse centrali spiega il set size effect in maniera intuitiva: quando i soggetti memorizzano un set di item, le risorse si distribuiscono su ciascuno di essi fornendo l'attivazione necessaria perché vengano richiamati con successo; aumentando il numero dei memoranda diminuisce la quantità di risorse disponibile per ciascun item, causando una diminuzione dell'attivazione e delle probabilità di un corretto recupero. Questa ipotesi è in linea con i dati derivanti da paradigmi a R.I. pari a zero descritti sopra. Si ricordi che molti modelli basati sull'ipotesi delle risorse definiscono quest'ultime come generali e dominio aspecifiche; questo presupposto viene però messo in discussione da ricerche che evidenziano gli effetti sulla performance mnestica del dominio del materiale utilizzato:

- Cross-domain benefit: dati due set di memoranda di uguale numerosità, si ricorda con maggior accuratezza il set composto da materiale di domini diversi (verbale, visuo-spaziale) (Cocchini et al., 2002; Oberauer & Kliegl, 2006). Tale effetto può essere spiegato presupponendo l'esistenza di meccanismi diversi per il mantenimento del materiale di diversi domini (Baddely, 1996; Logie, 1995)
- Heterogeneity effect: la performance mnestica risulta migliore in compiti di memoria che utilizzano materiali appartenenti allo stesso dominio ma con caratteristiche diverse (Olson & Jiang, 2002; Delvenne & Bruyer, 2004), come per esempio lettere e cifre, orientamento e colori rispetto a compiti in cui il materiale mnestico ha caratteristiche simili.

D'altra parte l'ipotesi delle risorse centrali predice correttamente che i limiti della WM siano, almeno in parte, dominio generali (Cowan et al., 2014; Oberauer & Kliegl, 2006; Sauls & Cowan, 2007).

## Interference

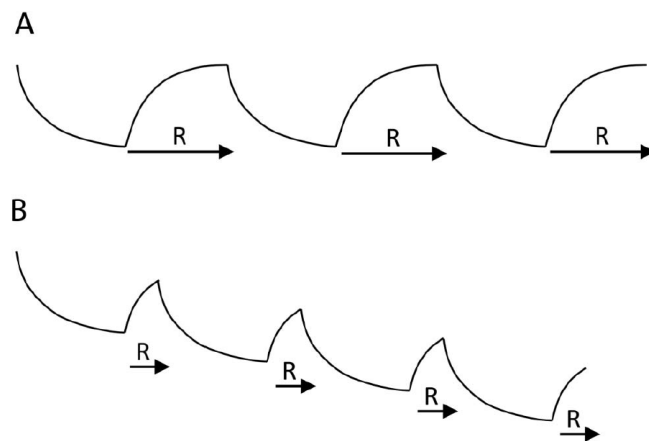
I modelli basati sull'interferenza spiegano il set size effect ipotizzando che maggiore è il numero di item presenti in un set, maggiore sarà il grado di interferenza che ciascuno di essi eserciterà sugli altri. Nonostante questo è da ricordare che l'interferenza è un fenomeno derivante dall'interazione delle rappresentazioni tra loro, per cui una stessa rappresentazione può generare livelli di interferenza diversi a seconda del materiale mnestico in cui è inserita. Infatti, i modelli basati sull'interferenza riescono a predire con notevole precisione gli effetti derivanti dalle caratteristiche del materiale, come per esempio l'heterogeneity effect e il cross-domain benefit (Oberauer et al., 2012); tuttavia non forniscono interpretazioni riguardo a esperimenti in cui emergono i limiti della WM anche quando viene utilizzato materiale di domini diversi che teoricamente non dovrebbe produrre effetti di interferenza (Morey & Cowan, 2004; Sauls & Cowan, 2007).

## Effetti dell'intervallo di ritenzione e dell'elaborazione di distrattori

### Decay

Gli effetti dell'intervallo di ritenzione registrati in letteratura sembrano mettere in discussione l'ipotesi del decadimento temporale. L'assunto su cui si basa questa ipotesi è il seguente: se viene impedito l'utilizzo dei meccanismi di riattivazione dei memoranda e si aumenta l'intervallo di ritenzione si dovrebbe assistere ad un decremento della performance mnestica. Il rehearsal può essere impedito attraverso la soppressione articolatoria, il refreshing può essere interrotto inserendo un compito distraente a scelta binaria nell'intervallo di ritenzione. Alcuni esperimenti hanno utilizzato queste tecniche singolarmente (Humphreys et al., 2010; Lewandowsky et al., 2004; Longoni, Richardson, & Aiello, 1993; Phaf & Wolters, 1993; Vallar & Baddeley, 1982; ) e in maniera combinata senza registrare l'effetto predetto dalle ipotesi basate sul decadimento temporale (Oberauer & Lewandowsky, 2008, 2013). Obiezioni di questo tipo possono essere portate avanti anche al TBRS model. In una condizione di CL trascurabile, il refreshing potrà riattivare completamente i memoranda e non si assisterà a un decadimento della performance mnestica nonostante l'intervallo di ritenzione venga allungato (Figura 2.1A). D'altra parte, se il CL è alto ci si dovrebbe aspettare che allungando i tempi di ritenzione, ma mantenendo il CL costante, si assista ad una progressiva diminuzione dell'attivazione dei memoranda e quindi ad una performance mnestica peggiore (Figura 2.1B). Nell'esperimento di Oberauer e Lewandowsky (2014) tale effetto non è stato registrato.

Nonostante ciò l'ipotesi del decadimento temporale fornisce validi strumenti teorici per interpretare paradigmi sperimentali a doppio compito attraverso l'operazionalizzazione del CL. Inoltre prevede effetti dominio specifici legati al materiale mnestico, che derivano da differenze funzionali tra i meccanismi di rehearsal articolatorio necessario per mantenere materiale verbale e refreshing per attivare materiale visuo-spaziale; infine possono essere interpretati anche effetti dominio generali perché il modello prevede che il refreshing utilizzi risorse attentive centrali.



*Figura 2.1°A e B. Le linee curve rappresentano il livello di attivazione di una traccia mnestica durante l'esecuzione di doppio compito. Durante l'esecuzione del compito distraente l'attivazione degli item decresce ma il meccanismo di refreshing (lettera R) interviene per riattivare gli item. Nella Figura A è rappresentato un compito con basso CL, in cui il meccanismo di refreshing può intervenire per un tempo sufficientemente lungo da riattivare completamente gli item in memoria. Nella Figura B il compito rappresentato ha un alto CL. Il meccanismo di refreshing in questo caso non ha abbastanza tempo a disposizione per riattivare completamente i memoranda che, secondo quanto predetto dall'ipotesi del decadimento temporale, perdono progressivamente attivazione.*

#### Resources

L'ipotesi delle risorse centrali si basa sull'assunto secondo cui l'elaborazione delle informazioni e il loro mantenimento in memoria condividono lo stesso pool di risorse, per cui un compito cognitivo inserito nel RI sottrae risorse necessarie per mantenere attive le informazioni in memoria e si assiste ad oblio. Un ulteriore importante assunto è il seguente: quando l'attivazione di una traccia mnestica scende sotto una soglia limite si assiste ad un oblio irreversibile; in questo caso anche se le risorse si liberassero e potessero essere riutilizzate per il materiale mnestico, tale traccia non potrebbe essere riattivata e successivamente recuperata. Nei modelli basati su questa ipotesi la variabile centrale non è la durata del retention interval o del processo interferente, ma l'intensità di quest'ultimo interpretata come porzione di risorse centrali sottratte al mantenimento delle tracce. In altre parole, si assiste a oblio se l'intensità del processo interferente è tale da portare le tracce mnestiche sotto la soglia di disattivazione irreversibile. Tale ipotesi è stata verificata in esperimenti in cui l'aumento della durata del compito interferente non provoca diminuzioni delle performance mnestica (Humphreys et al., 2010; Lewandowsky et al., 2010; Lewandowsky et al., 2008; Longoni et al., 1993; Oberauer & Lewandowsky, 2008; Phaf & Wolters, 1993; Vallar & Baddeley, 1982; Oberauer & Lewandowsky, 2008, 2014). L'ipotesi delle risorse centrali è supportata dagli esperimenti che rilevano una riduzione dell'accuratezza nel compito di memorizzazione anche quando il compito

interferente e il compito mnestico utilizzano materiale di domini completamente diversi (Barrouillet, et al., 2007); d'altra parte, risulta difficile interpretare effetti di interferenza relativi ai domini di appartenenza del materiale.

#### Interference

Secondo l'ipotesi dell'interferenza durante l'esecuzione di un doppio compito, le rappresentazioni degli item del compito secondario vengono automaticamente elaborate nella WM; tali rappresentazioni quindi hanno un effetto interferente sulle rappresentazioni dei memoranda causando riduzione dell'accuratezza nella performance mnestica. Secondo il modello di Oberauer (Oberauer et al., 2012) si assiste a interferenza non appena le rappresentazioni vengono codificate in WM, però durante l'esecuzione di un doppio compito (come ad esempio uno span complesso) le rappresentazioni del compito secondario e il relativo effetto interferente sui memoranda vengono rimossi dal meccanismo di soppressione delle rappresentazioni irrilevanti. Il meccanismo di soppressione gioca un ruolo chiave nei fenomeni relativi al CL: un basso CL implica un'alta porzione di tempo disponibile tra l'elaborazione dei distrattori, che viene utilizzata dal meccanismo di soppressione per eliminare le rappresentazioni interferenti dalla WM; viceversa, in condizioni di alto CL il tempo disponibile per la soppressione dell'interferenza è minore e causa un decremento significativo nell'accuratezza della performance mnestica. D'altra parte il modello di Oberauer riesce a prevedere effetti legati ai domini del materiale da elaborare: il modello riesce a prevedere sia un decremento della performance quando distrattori e memoranda appartengono allo stesso dominio, sia un beneficio quando distrattori e memoranda appartengono allo stesso dominio ma hanno caratteristiche differenti.

#### Differenze individuali

##### Decay

Secondo l'ipotesi del decadimento temporale, le differenze individuali nei vari compiti e paradigmi sperimentali emergono dalle differenti rapidità di decadimento della traccia o dalla diversa efficienza dei meccanismi di refreshing e rehearsal di ciascun individuo (Jensen, 1988; Gaillard, Barrouillet, Jarrold & Camos, 2011). Una predizione necessariamente implicata in questa ipotesi è che le misure della capacità di WM siano positivamente correlate con misure di efficienza del refreshing e rehearsal. Tali correlazioni sono state individuate per quanto riguarda i processi di refreshing, ma risulta più problematica la relazione tra rehearsal e capacità della WM (Tehan, Fogarty, & Ryan, 2004; Tehan & Lalor, 2000; Ferguson & Bowey, 2005). L'efficienza del refreshing sembra essere correlata all'immagazzinamento a lungo termine, poiché i processi di riattivazione della traccia probabilmente permettono un migliore consolidamento delle informazioni in memoria

a lungo termine (Camos & Portrat, 2015; Loaiza & McCabe, 2012). L'ipotesi del decay non fornisce strumenti per interpretare le correlazioni frequentemente osservate in letteratura tra WM e misure di controllo esecutivo come compiti antisaccade, Stroop, o basati su switch di compiti.

#### Resources

Secondo questa ipotesi le differenze individuali emergono dalla diversa quantità di risorse disponibili ai soggetti. Oberauer e colleghi (2016) sostengono che il concetto di risorse è spesso utilizzato in letteratura per giustificare correlazioni positive tra misure delle WM e compiti di altra natura attentiva, oppure in maniera analoga, quando due o più misure vengono raggruppate in un unico fattore attraverso un'analisi fattoriale, si suppone che tali misure condividano lo stesso pool di risorse. Questo tipo di procedura rischia di minare il potere esplicativo del concetto di risorse rendendolo una categoria troppo vaga per produrre ipotesi verificabili. Gli autori sostengono che sia quindi necessario identificare quali misure attentive correlino con le misure di WM; in questo modo sarebbe possibile gettare luce sulla natura stessa delle risorse attentive. A questo proposito è ipotizzabile che le risorse centrali entrino in gioco in misura maggiore in compiti in cui è necessario un forte controllo esecutivo, come lo Stroop-task o l'antisaccade. In questo tipo di compiti le risorse sarebbero necessarie per mantenere attive le rappresentazioni esecutive delle consegne del compito, la cui attivazione diminuirebbe durante l'esecuzione del compito stesso causando errori di cattura. Inoltre è possibile aspettarsi correlazioni assenti o deboli con paradigmi in cui l'attenzione gioca un ruolo di filtro percettivo, come ad esempio il compito Flanker. Queste predizioni hanno avuto riscontro positivo in letteratura (Stroop: Kane & Engle, 2003; Flanker: Keye et al., 2009; Wilhelm et al., 2013).

#### Interference

L'ipotesi dell'interferenza individua diversi parametri o fattori da cui possono emergere le differenze individuali; la prima riguarda il "filtering", ossia la capacità di prevenire l'elaborazione in WM di materiale non rilevante per il compito; questa ipotesi però non ha trovato pieno riscontro in letteratura (Cowan, Morey, AuBuchon, Zwilling, & Gilchrist, 2010; Mall, Morey, Wolff, & Lehnert, 2014). Un ulteriore fattore riguarda la distinctiveness delle rappresentazioni in memoria a lungo termine; la distinctiveness è una caratteristica delle rappresentazioni che indica in che misura quest'ultime siano codificate e organizzate in maniera separata e distinta. Cruciale nel definire la distinctiveness è il livello di expertise dei soggetti nel dominio delle rappresentazioni target. Rappresentazioni organizzate con una maggior distinctiveness sono soggette a un minor grado di distorsione quando vengono recuperate dalla memoria a lungo termine. È evidente che l'ipotesi dell'interferenza non fornisca strumenti concettuali che permettano di generare teorie sulla

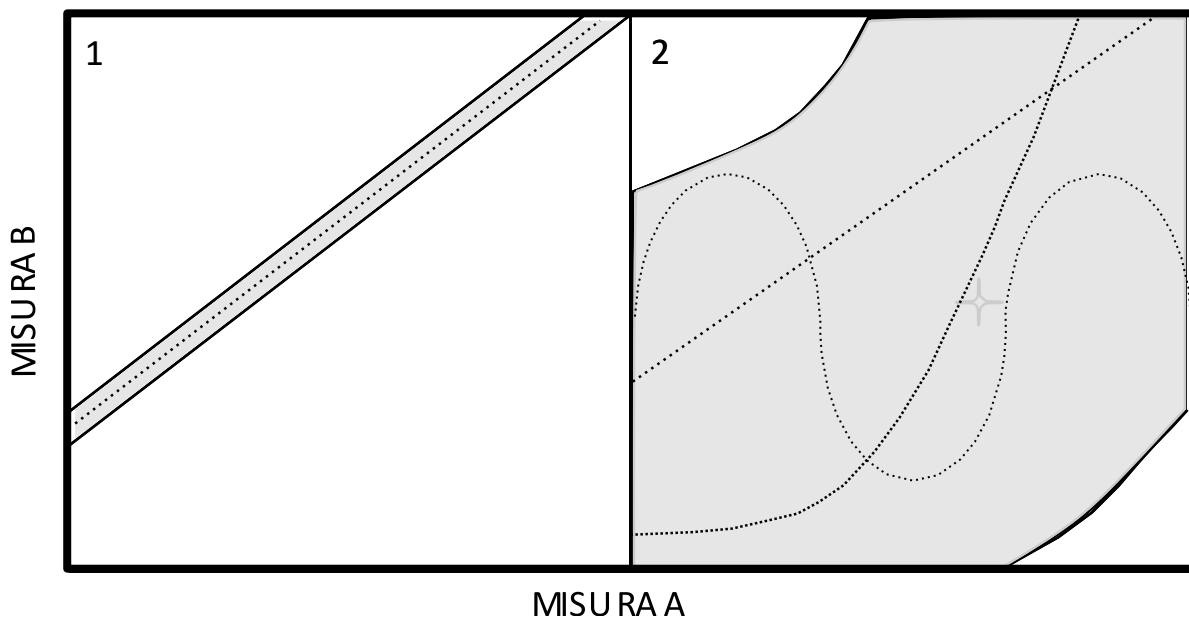


struttura fattoriale della memoria di lavoro o delle differenze individuali; tuttavia, attraverso lo sviluppo di modelli computerizzate basati sull'interferenza come il SOB-CS, è possibile replicare strutture fattoriali, differenze individuali e molti altri fenomeni legati agli span in maniera molto accurata.

#### [I vantaggi della modellizzazione: un problema epistemologico](#)

Lewandowsky e Farrell (2011) sostengono che un modello è una sistema astratto in grado di formulare delle descrizioni coerenti dei dati, produrre predizioni falsificabili e spiegare un comportamento attraverso l'identificazione di costrutti e processi e delle relazioni tra di essi<sup>1</sup>.

Un primo aspetto problematico della modellizzazione è che ogni modello ha un campo di applicabilità limitato, cioè produce previsioni riguardo ad insieme finito di fenomeni. Questo punto appare più chiaro facendo riferimento a alla Figura 1.1 adattata da Robert & Pasheler (2000).



*Figura 1.1 La figura mostra un'ipotetica relazione tra due misure A e B. Le aree grigie rappresentano i dati che sono predetti da 2 ipotetici modelli, le aree bianche, invece, rappresentano i dati che confutano tali modelli*

La figura rappresenta la relazione tra due ipotetiche misurazioni: A e B. Nel Pannello 1 è rappresentata la predizione di un ipotetico Modello 1; nel Pannello 2 viene mostrata le predizioni di una diversa tipologia di modello. Le aree in grigio rappresentano i dati conformi alle previsioni dei modelli; sono rappresentate in bianco, invece, le aree di dati che disconfermano tali previsioni. Nel pannello 1, possiamo notare che l'area bianca molto ampia rappresenta l'alta probabilità di registrare dati che disconfermano il modello 1, nel pannello 2 tale area è, al contrario, molto ridotta.

<sup>1</sup> Si noti che tale definizione di modello può essere considerata molto simile a quella di teoria; gli autori infatti nella pubblicazione "Computational modeling in cognition" spesso utilizzano i due termini come sinonimi. In questo paragrafo verrà mantenuta quest'accezione del termine modello. Un approfondimento di questa questione terminologica non concerne gli scopi del presente elaborato.

È possibile supporre che il Modello 1 predica una specifica relazione tra le variabili di tipo lineare positiva (linea tratteggiata). Nel Pannello 2 l'area dei dati a sostegno delle previsioni del modello è così ampia che fornisce poche informazioni riguardo alla tipologia della relazione tra le due misure: per esempio, sia una relazione di tipo logaritmico che sinusoidale possono essere predette dal modello. Il Modello 2 nonostante sia apparentemente più robusto rispetto al Modello 1 perché ha una minore probabilità di essere disconfermato, risulta poco utile perché troppo vago. Al contrario il Modello 1 risulta migliore proprio perché più preciso e quindi più falsificabile. In linea con queste affermazioni, Robert & Pashler (2000) sostengono che se un modello genera previsioni che possono coprire un'ampia gamma di risultati diversi tra loro, è più difficile individuare quali tra questi siano reali prove della bontà di tale modello; sarebbe opportuno, invece, produrre un modello in grado di generare previsioni precise riguardo a fenomeni ben definiti e altamente improbabili: "il successo della teoria newtoniana non è predire la caduta di una pietra ogni volta che viene lanciata, a prescindere da quante volte questa osservazione sia ripetuta; ciò che realmente conta è la generazione di previsioni improbabili e inaspettate, come il ritorno della cometa di Halley" (Lakatos, 1978, p. 5).

In termini di falsificabilità quindi, non è solo necessario ma anche auspicabile che le previsioni di un modello siano limitate ad un insieme preciso e ben definito di fenomeni. Tale asserzione risulta ancora più problematica se contrapposta a un ulteriore aspetto problematico della modellizzazione: per ogni diverso insieme di fenomeni esistono molteplici modelli predittivi corretti (Anderson, 1990); il dibattito riportato sopra riguardo alla memoria di lavoro può risultare un esempio efficace di questa asserzione; ma anche nelle scienze naturali è possibile individuare controversie simili, la più citata delle quali è sicuramente quella tra le teorie corpuscolare e ondulatoria della luce (Lewandowsky & Farrell, ibidem). Quindi se i modelli predicono un insieme limitato di fenomeni, ma per ogni diverso fenomeno esistono molteplici modelli predittivi efficaci, sebbene la selezione dei modelli migliori sia comunque possibile attraverso metodi quantitativi come misure di goodness of fit, sembra che la proliferazione di modelli sia una condizione necessaria. Ci si può chiedere, allora, quale sia il senso stesso della modellizzazione. Una risposta a riguardo potrebbe essere la seguente: la modellizzazione è una metodologia scientifica efficace poiché definendo un modello si generano necessariamente contraddizioni. In altre parole, se i modelli sono necessariamente limitati, si incontreranno necessariamente dati incoerenti, anomalie e contrapposizioni con altre strutture teoriche. Tali contraddizioni possono essere affrontate attraverso una riflessione sui diversi costrutti teorici, processi, strumenti di misurazione e metodologie individuati dai modelli contrapposti. In

sostanza, un buon modello contrapponendosi a modelli esplicativi relativi alla stessa tipologia di fenomeni fornisce gli strumenti per elaborare ipotesi riguardo al proprio stesso superamento.

## 2. Teoria degli Operatori Costruttivi.

Dalla teoria generale a un modello probabilistico degli span semplici.

### Contesto teorico: la crisi del paradigma piagetiano

Verso la fine degli anni '60 il paradigma piagetiano veniva messo in discussione da numerosi studi che rilevano asincronie nell'acquisizione delle competenze logico-deduttive previste dalla teoria stadiale, alcune delle quali studiate dallo stesso Piaget e dai suoi collaboratori (Piaget & Szeminska, 1941; Inhelder, 1967). In particolare, molti di questi "sfasamenti" nelle acquisizioni delle competenze cognitive sono state definiti secondo le categorie della teoria piagetiana, come "*décalage orizzontali*": una struttura logica, che viene applicata con successo in un determinato compito, non viene utilizzata dai bambini in compiti simili, la cui soluzione prevede l'applicazione della stessa struttura. L'esempio più celebre riguarda lo studio di Piaget e Szeminska (1941) sulla conservazione della quantità materia peso e volume: se una pallina di plastilina viene schiacciata, i bambini di 7 anni comprendono che dopo la trasformazione viene conservata la stessa quantità di materia, ma affermano che peso e volume aumentano; solo verso gli 11 anni di età comprendono che anche queste caratteristiche rimangono invariate. La teoria piagetiana poteva generare spiegazioni ad hoc per interpretare tali fenomeni, ma non forniva categorie utili per chiarire quali caratteristiche psicologiche o del compito potessero influire sulla performance cognitiva determinando tali asincronie; in altre parole non forniva strumenti per predire con successo errori di questo tipo. Le teorie neopiagetiane come Teoria degli Operatori Costruttivi di Pascual-Leone nascono proprio dal tentativo fornire spiegazioni ai dati in contraddizione con la teoria piagetiana, ma per raggiungere tale obiettivo è stato necessario abbandonare le categorie interpretative della vecchia teoria a favore di strumenti predittivi provenienti da un paradigma allora nascente, ossia Human Information Processing.

### Gli elementi essenziali della TCO

In maniera simile alla teoria piagetiana, secondo la TCO (Pascual-Lene, 1970; Howard, Johnson & Pascual-Leone, 2013), le unità minime su cui opera il pensiero sono gli schemi. Pascual-Leone ne individua tre tipologie:

- Schemi figurativi: rappresentazioni, informazioni, concetti, stati mentali ossia i contenuti che costituiscono l'oggetto dell'elaborazione mentale;
- Schemi operativi: le operazioni e trasformazioni da applicare sugli schemi figurativi;
- Schemi esecutivi: le rappresentazioni delle procedure e strategie dell'elaborazione; costituiscono script di un programma che coordina e controlla tutti i passaggi dell'elaborazione.

Gli schemi possono essere di natura ricorsiva, ossia singoli schemi possono essere coordinati tra loro in modo da formare uno schema di ordine superiore; inoltre, gli schemi sono distribuiti su una rete di attivazione per cui l'attivazione di uno schema comporta l'attivazione di schemi compatibili con esso o, viceversa, la disattivazione di schemi incompatibili.

L'elemento di maggior novità nella TCO sono gli operatori costruttivi metasoggettivi, ossia dispositivi in grado di attivare, inibire e di coordinare l'attivazione degli schemi. Mentre ogni soggetto possiede un repertorio personale e mutevole di schemi, gli operatori metasoggettivi sono gli stessi per ogni individuo. Tra questi possiamo ricordare (per una rassegna completa: Gobbo & Morra, 1997):

- Operatore F (Field): questo operatore è adibito all'attivazione automatica di schemi in modo coerente alla configurazione percettiva degli stimoli; Pascual-Leone fa riferimento agli studi sulla dipendenza dal campo e sullo stile cognitivo campo-dipendente di Witkin (Witkin et al 1974). L'organizzazione percettiva degli stimoli costituisce un campo di tipo rispettivamente percettivo che rende salienti gli schemi in maniera automatica; un esempio a proposito sono gli effetti gestaltici che fanno emergere in maniera immediata e subitanea una forma definita da una configurazione percettiva complessa.
- Operatore I (Interrupt): interrompe l'attivazione di schemi non rilevati con la soluzione del compito.
- Operatore C e L: sono adibiti alla modificazione del repertorio di schemi; in particolare l'operatore C svolge una funzione simile all'accomodamento piagetiano, è adibito alla formazione di nuovi schemi che risolvono il conflitto tra pattern di attivazioni incompatibili fra loro. L'operatore L invece è adibito alla strutturazione di due o più schemi in uno schema di ordine superiore.
- Operatore M: è costituito da risorse attentive centrali dominio-generalì che permettono ai soggetti di attivare schemi necessari per la soluzione di un compito attraverso uno sforzo cosciente. Questo elemento della TCO è influenzato dagli studi sulla *channel capacity* di

Miller (1956) in cui veniva dimostrato come l'attività di elaborazione degli esseri umani fosse circoscritta ad un numero limitato di informazioni, ossia il magico numero 7. La capacità dell'operatore M è definita dall'equazione:  $e + k$ , in cui  $e$  rappresenta il numero di schemi esecutivi necessari attivati dall'M Capacity e  $k$  il numero di schemi operativi e figurativi. Gli schemi esecutivi, rappresentazioni molto semplici di scopi e procedure, sono in buona parte automatizzati per cui la quota di M Capacity dedicata a  $e$  è considerata relativamente piccola e trattata come costante dai 3 anni in poi. È da tenere presente che la quantità di risorse impegnate per attivare gli schemi esecutivi è trascurabile, poiché spesso si tratta di procedure di controllo apprese e consolidate. Secondo, Pascual-Leone (1970) il parametro  $k$  cresce con un pattern costante di un'unità ogni 2 anni a partire dai 3 anni di età, fino a raggiungere 7 unità intorno ai 15 anni.

Età	k
3 - 5	1
5 - 7	2
7 - 9	3
9 - 11	4
11 -13	5
13 - 15	6
15 -	7

*Tabella 2.1 Pattern di crescita del parametro k in età evolutiva*

Con il crescere dell'M Capacity aumenta il numero di schemi che i bambini riescono a coordinare contemporaneamente e, di conseguenza, incrementa il grado di complessità dei pensieri che sono in grado di generare; d'altro canto, l'M Capacity rappresenta lo spazio entro cui tali pensieri sono generabili, e costituisce, quindi, un limite dominio generale che coinvolge tutti gli aspetti della cognizione. Da questo punto di vista l'M Capacity può essere considerata *"il parametro nascosto"* dietro alle sincronie dominio generali nell'acquisizione di competenze cognitive nel corso dell'infanzia. Si può notare, quindi, come aspetti di tipo stadiale tipici del paradigma piagetiano, non vengano abbandonati, ma interpretati e predetti utilizzando nuove categorie interpretative. Inoltre, utilizzando gli strumenti della TCO, è possibile fornire spiegazioni falsificabili riguardo alle possibili cause dei décalages orizzontali nei compiti piagetiani; in particolare secondo a Pascual-Leone è possibile si assiste a décalages quando:

- il numero di schemi che è necessario elaborare per risolvere il compito cognitivo eccede l'M Capacity dei soggetti;

- il compito è presentato in maniera fuorviante, ossia la struttura percettiva del compito crea effetti di campo che portano l'operatore F ad attivare schemi che, sebbene sia coerenti con l'organizzazione percettiva, risultano erronei. Per esempio, nei compiti di conservazione, i bambini vengono attirati dalla maggior superficie piana della plastilina dopo che la sfera è stata schiacciata; l'operatore F, quindi, attiva automaticamente lo schema "maggiore" anche se la struttura logica della conservazione è già stata acquisita.

In altre parole, si arriva alla corretta soluzione di un compito se si ha la possibilità di elaborare tutte le informazioni necessarie e se tra quelle disponibili si selezionano quelle corrette.

La TCO fornisce inoltre uno strumento formale per produrre predizioni precise riguardo alla riuscita in un compito tenendo conto dell'M capacity del soggetto, delle caratteristiche del compito stesso e dei passaggi di attivazione ed elaborazione degli schemi, ossia la task analysis. Nel prossimo paragrafo verrà descritto questo strumento.

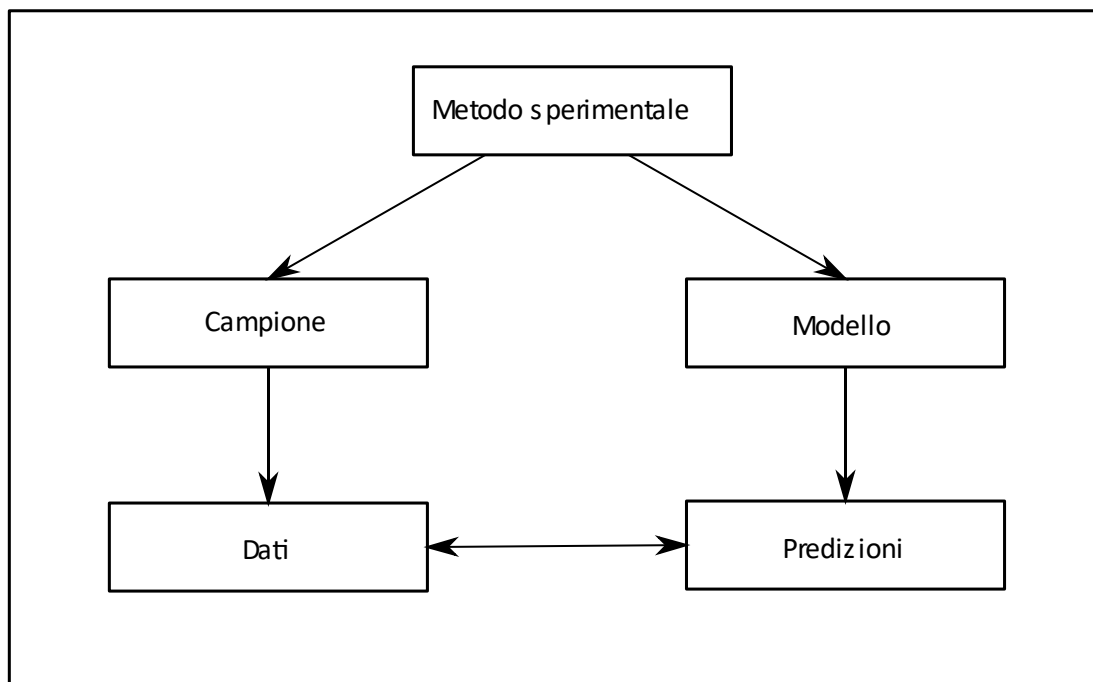
#### Task analysis

L'analisi del compito è un metodo euristico largamente utilizzato nel paradigma neopiagetiano il cui obiettivo generale è quello di formulare un modello specifico di un compito cognitivo che permetta di individuare le informazioni e i processi di elaborazione necessari per la risoluzione dello stesso; esistono diverse tipologie di task analysis a seconda della cornice teorica a cui fanno riferimento (Gobbo & Morra, 1997); per quanto riguarda la TCO sono sicuramente fondamentali i seguenti passaggi:

- Analisi strutturale: vengono identificati gli schemi figurativi, operativi ed esecutivi che devono necessariamente essere attivati per poter risolvere il compito;
- Analisi temporale o computazionale: vengono individuati i singoli passaggi di attivazione ed elaborazione degli schemi necessari per la risoluzione del compito; in altre parole viene definita la sequenza temporale dei processi necessari per risolvere il compito
- Analisi metasoggettiva: vengono definiti i processi di attivazione o deattivazione a carico degli operatori metasoggettivi; tale passaggio è fondamentale, per esempio, per capire se, durante l'esecuzione del compito, gli schemi sono attivati da fonti percettive (operatore F), sono automatizzati da un precedente apprendimento (operatori L) o se, invece, necessitano dell'attivazione da parte dell'operatore M, la cui capacità come accennato sopra è limitata.

### Dalla task analysis ai modelli probabilistici

Attraverso la task analysis, la TCO fornisce strumenti per produrre modelli che generano precise previsioni riguardo a molti compiti cognitivi, che possono essere sottoposte a verifiche sperimentali (per una rassegna Gobbo & Morra, 1997); inoltre è possibile utilizzare la TCO per formulare modelli probabilistici verificabili attraverso il seguente metodo illustrato da Lewandowsky e Farrel (2011) e riportato in Figura 2.1.



*Figura 2.1 Schema della procedura di validazione di un modello attraverso la simulazione di compito cognitivo*

Secondo questa metodologia, lo stesso paradigma sperimentale viene somministrato ad un campione di soggetti e simulato attraverso un modello probabilistico; tale modello genera delle previsioni che vengono confrontate con i dati raccolti nel campione attraverso la valutazione della goodness of fit o con altri metodi statistici.

Un esempio di questa metodologia è il modello probabilistico degli span di memoria a breve termine di parole elaborato da Morra (2000, 2015) le cui assunzioni sono state descritte nel capitolo precedente. Di seguito, tale modello verrà descritto nel dettaglio poiché nel capitolo successivo verrà esposto il TCO-CS, un modello basato sul modello di Morra (2015) costruito per predire performance dei soggetti in span complessi.

Il modello di Morra (2015) è la simulazione di un compito di span di parole presentato visivamente e uditivamente. Come esempio della modellizzazione basata sulla TCO, portata avanti dall'autore, vengono riportati nella Tabella 2.2 i passaggi necessari per un compito di memorizzazione di lettere

portato avanti da un soggetto con un M Capacity di  $e+5$  unità. In questo caso al soggetto veniva presentata visivamente una lista di 5 parole che doveva essere richiamate in memoria nell'ordine con cui le parole erano state presentate. Gli schemi necessari e i passaggi di elaborazione sono stati definiti attraverso un'analisi strutturale, temporale e metasoggettiva del compito. Gli schemi esecutivi sono rappresentati nella colonna  $e$ : lo schema  $\epsilon_{\text{Read}}$  è relativo alla lettura e lo schema  $\epsilon_{\text{Rec}}$  che rappresenta le operazioni di richiamo degli item memorizzati. Gli schemi operativi sono lo schema  $\psi_{\text{Cod}}$ , schema  $\psi_{\text{Ord}}$  e lo schema  $\psi_{\text{Retr}}$ . Il primo rappresenta le operazioni di codifica degli stimoli; il secondo costituisce la rappresentazione dell'ordine con cui gli item in memoria dovranno essere richiamati; il terzo rappresenta il processo di recupero di un singolo item memorizzato. Gli schemi figurativi  $\varphi W1$ ,  $\varphi W2$ ,  $\varphi W3$ ,  $\varphi W4$  e  $\varphi W5$  sono le rappresentazioni delle parole codificate. Nella parte sinistra della tabella viene rappresentato il livello di attivazione degli schemi operativi e figurativi; quando gli schemi sono attivati dall'operatore M hanno piena attivazione rappresentata dal numero 1; quando il numero di schemi supera l'M Capacity di un soggetto (in questo caso  $M=e+5$ ) gli schemi che non possono essere attivati dall'operatore M perdono attivazione; tale decremento è rappresentato dal parametro  $\alpha$ , unico parametro libero del modello. Tale parametro rappresenta il calo della probabilità di richiamare correttamente la parola ed è definito dal numero di schemi che decadono in uno stesso passaggio e dal numero di passaggi necessari per risolvere il compito. Se per esempio in un passaggio dell'esecuzione di un compito cognitivo si assiste al decremento dell'attivazione di un solo schema, la sua attivazione viene moltiplicata per  $\alpha$  ogni passaggio successivo; se invece gli schemi fuori dall'M Capacity del soggetto sono due, la loro attivazione verrà moltiplicata per  $\alpha^2$  ogni passaggio successivo. Per chiarezza si seguano gli step illustrati in Tabella 2.2. Nello step 1 il partecipante ha attivato lo schema esecutivo  $\epsilon_{\text{Read}}$  e codifica la parola 1, questa operazione genera lo schema figurativo  $\varphi W1$  (colonna "Output"). Nel passaggio 2 il partecipante attiva lo schema  $\psi_{\text{Ord}}$  che gli permetterà di richiamare le parole nell'ordine richiesto; l'operatore M mantiene attivato lo schema  $\varphi W1$  e viene codificata la seconda parola, generando lo schema figurativo  $\varphi W2$ . Nel passaggio 3 avviene la codifica della parola successiva; a questo punto si può notare che le 5 unità del soggetto sono tutte utilizzate: una è adibita all'attivazione dello schema operativo  $\psi_{\text{Ord}}$ , due agli schemi figurativi delle parole 1 e 2 e due unità sono adibite alla codifica della terza lettera. Nel passaggio 4, infatti lo schema  $\varphi W3$ , eccede l'M capacity del soggetto e perde attivazione; si noti che l'attivazione di quest'ultimo schema è contrassegnata dal parametro  $\alpha$ . Nel passaggio successivo anche lo schema  $\varphi W4$  eccede l'M capacity e perde attivazione; siccome a questo punto gli schemi con parziale attivazione sono due,



l'attivazione degli schemi  $\varphi W3$  e  $\varphi W4$  verrà moltiplicata per  $a^2$ ; allo stesso modo nel passaggio 6, viene codificato il segnale END che rappresenta la fine della presentazione della lista e l'inizio delle operazioni di richiamo in memoria rappresentate dallo schema esecutivo  $\epsilon Rec$  e dallo schema operativo  $\psi Retr$ . Inoltre, si aggiunge anche lo schema  $\varphi W5$  agli schemi che eccedono l'M capacity, e l'attivazione degli schemi parzialmente viene moltiplicata per  $a^3$ . Nei passaggi 7 e 8 vengono richiamate in memoria le prime due lettere, che avranno probabilità di essere richiamate correttamente pari a  $c(1 - 2r)$ , dove  $c$  è la probabilità che ogni lettera sia stata codificata correttamente e  $(1 - 2r)$  rappresenta la probabilità che il richiamo di ogni coppia di parole consecutive avvenga nell'ordine corretto. In questo caso il grado di attivazione delle lettere è massimo, quindi pari a 1. Nei passaggi 7 e 8 gli schemi  $\varphi W3$ ,  $\varphi W4$  e  $\varphi W5$  continuano a perdere attivazione, ossia i rispettivi parametri  $a$  vengono moltiplicati per  $a^3$  a ogni passaggio fino allo step 9, in cui lo schema  $\varphi W3$  viene recuperato con una probabilità pari a  $a^{12} c(1 - 2r)$ . A questo punto, rimangono solamente due schemi parzialmente attivati e i rispettivi parametri  $a$  vengono moltiplicati per  $a^2$ . Nel passaggio 10 il grado di disattivazione dello schema  $\varphi W5$ , essendo l'unico rimasto in eccesso, viene moltiplicato per  $a$ . Infine, viene calcolata la probabilità di richiamare correttamente l'intera lista attraverso il prodotto delle probabilità di richiamare in serie ciascuna parola di cui la lista è composta; in questo caso:  $c^5 (1 - 2r)^4 a^{37}$ . Al fine di generare le predizioni del modello per un campione sperimentale è necessario applicare tale procedura per ogni lunghezza di lista e ogni valore di M capacity dei partecipanti; risulta quindi necessario che accanto alla prova di span vengano presentate misure dell'M Capacity come, nel caso della ricerca di Morra (2015), il Compound Stimuli Visual Information Task (Pascual-Leone, 1970) il Figure Intersection Test (Pascual-Leone and Baillargeon, 1994; Pascual-Leone and Johnson, 2011) e Direction Following Task (Cunning, 2003; Pascual-Leone and Johnson, 2005, 2011). Le probabilità generate dal modello vengono utilizzate per calcolare le risposte attese che, successivamente, possono essere confrontate con i risultati ottenuti dal campione attraverso un confronto tra medie.

Step	Schemi attivati dall'M Capacity						Output	Attivazione degli schemi					Probabilità di recupero corretto
	e			k				$\phi_{W1}$	$\phi_{W2}$	$\phi_{W3}$	$\phi_{W4}$	$\phi_{W5}$	
1	$\epsilon_{Read}$	$\psi_{Cod}$	W1				$\phi_{W1}$	1					
2	$\epsilon_{Read}$	$\psi_{Ord}$	$\phi_{W1}$	$\psi_{Cod}$	W2		$\phi_{W2}$	1	1				
3	$\epsilon_{Read}$	$\psi_{Ord}$	$\phi_{W1}$	$\phi_{W2}$	$\psi_{Cod}$	W3	$\phi_{W3}$	1	1	1			
4	$\epsilon_{Read}$	$\psi_{Ord}$	$\phi_{W1}$	$\phi_{W2}$	$\psi_{Cod}$	W4	$\phi_{W4}$	1	1	$a$	1		
5	$\epsilon_{Read}$	$\psi_{Ord}$	$\phi_{W1}$	$\phi_{W2}$	$\psi_{Cod}$	W5	$\phi_{W5}$	1	1	$a^3$	$a^2$	1	
6	$\epsilon_{Read}$	$\psi_{Ord}$	$\phi_{W1}$	$\phi_{W2}$	$\psi_{Cod}$	END	$\epsilon_{Rec}$	1	1	$a^6$	$a^5$	$a^3$	
7	$\epsilon_{Rec}$	$\psi_{Retr}$	$\phi_{W1}$	$\psi_{Ord}$	$\phi_{W2}$		$U_{W1}$		1	$a^9$	$a^8$	$a^6$	$c(1-2r)$
8	$\epsilon_{Rec}$	$\psi_{Retr}$	$\phi_{W2}$	$\psi_{Ord}$			$U_{W2}$			$a^{12}$	$a^{11}$	$a^9$	$c(1-2r)$
9	$\epsilon_{Rec}$	$\psi_{Retr}$	$\phi_{W3} ?$	$\psi_{Ord}$			$U_{W3}?$				$a^{13}$	$a^{11}$	$a^{12}c(1-2r)$
10	$\epsilon_{Rec}$	$\psi_{Retr}$	$\phi_{W4} ?$	$\psi_{Ord}$			$U_{W4}?$					$a^{12}$	$a^{13}c(1-2r)$
11	$\epsilon_{Rec}$	$\psi_{Retr}$	$\phi_{W5} ?$				$U_{W5}?$						$a^{12}c$

Tabella 1.2 Nella parte a sinistra della tabella sono riportati i passaggi previsti dall'analisi del compito, nella parte destra viene calcolata la probabilità di richiamo corretto. Nella parte destra sono indicati in blu gli schemi operativi e in rosso quelli figurativi pienamente attivati dall'Operatore M.

### 3. Un modello probabilistico degli span complessi.

Sebbene il costrutto dell'operatore M, fondamentale nella TCO, comporti un modello della memoria di lavoro che si può considerare a tutti gli effetti basato su un'ipotesi di resource-sharing, attualmente non esistono studi sull'M capacity che utilizzino un doppio compito con misurazione dei tempi di risposta, paradigma più utilizzato nella ricerca intorno alla memoria di lavoro. Lo scopo del presente studio è formulare un'interpretazione degli span complessi secondo la prospettiva della TCO, confrontandola con altre prospettive. Tale obiettivo generale si declina in ulteriori sotto-obiettivi:

- Studiare la relazione tra misure di M capacity e memoria di lavoro misurate attraverso doppi compiti;
- Studiare la relazione tra M Capacity e Cognitive Load;
- Studiare l'influenza di variabili legate allo sviluppo cognitivo sulla performance negli span complessi.
- Elaborare un modello probabilistico degli span complessi utilizzando le categorie interpretative della TCO.

La procedura seguita è quella illustrata nella Figura 2.1 del capitolo precedente:

1. Paradigma sperimentale. Sono stati definiti due diversi compiti di span complessi che verranno utilizzati negli esperimenti previsti dalla ricerca: in uno il compito interferente sottrae una minima quantità risorse al compito di memorizzazione, nel secondo, invece, il compito di processing, necessita di un significativo impiego di risorse. Sono stati delineati due diversi esperimenti che utilizzano tali misure: l'Esperimento 1 ha l'obiettivo di verificare se il modello, al pari del TBRS model e del SOB-CS, riesca a predire il decremento della performance di soggetti adulti a seconda del diverso carico di risorse del compito interferente, o, nei termini del modello TBRS, del CL previsto dalla procedura; in questo esperimento sono previste due: Condizione 1 e 2. Nella Condizione 1 vi è un solo item del compito secondario dopo la presentazione di ciascuna lettera, mentre nella Condizione 2 vi sono 2 item, mantenendo costante il tempo interlettera. Nell'Esperimento 2 viene replicata la condizione Condizione 2 con campioni di bambini di età differenti con l'obiettivo di analizzare quali variabili influiscono sulla performance in span complessi in soggetti in età

evolutiva.

2. Simulazione del modello. In questa fase si generano le predizioni del modello basato sulla TCO (derivato modello degli span di parole di Morra (Morra, 2000 & 2015), e le predizione del modello TBRs.
3. Valutazione della goodness of fit. Le previsioni dei modelli vengono quindi confrontate con i risultati raccolti.

## 3.1 Esperimento 1

### Metodo

#### Prove di span

L'esperimento prevede la somministrazione di tre prove di memoria che si differenziano per il diverso grado di interferenza del compito secondario: uno Simple Span in cui è previsto nessun tipo di compito interferente, uno Span-Posner in cui il compito interferente sottrae una trascurabile quantità di risorse attentive al compito di memorizzazione, uno Span-Antisaccade in cui il compito secondario coinvolge risorse centrali e controllo esecutivo sottraendo in maniera significativa risorse alla memorizzazione delle lettere. In ogni prova di span sono presentate stringhe di consonanti composte da un minimo di due a un massimo di sette lettere; per ogni lunghezza sono previste due stringhe. Le stringhe vengono presentate in ordine di lunghezza crescente. Al termine di ogni stringa compare una finestra di dialogo sullo schermo; i partecipanti sono tenuti a richiamare in memoria le lettere nell'ordine in cui sono state presentate e lo sperimentatore inserisce la risposta ottenuta con un'apposita tastiera collegata al computer. I punteggi degli span vengono assegnati nel seguente modo: vengono assegnati 0.5 punti per ogni stringa richiamata correttamente e a ciò si aggiunge 1 unità che rappresenta la lunghezza di stringhe di una lettera, non presentate nell'esperimento e di cui si assume venga superata senza errori.

Le prove di span complesso sono somministrate in due diverse condizioni in cui l'intervallo interlettere è costante (3300 ms):

- Condizione 1: nello Span-Posner e nello Span-Antisaccade dopo ogni lettera del compito di memorizzazione verrà presentato un singolo item del compito interferente,
- Condizione 2: nello Span-Posner e nello Span-Antisaccade il numero degli item distraenti presentati dopo ogni lettera è 2.

Le prove di span previste sono le seguenti:

**Simple Span:** In questo compito non è inserito nessun tipo di compito secondario. Le consonanti compaiono per 700 ms e sono preannunciate da un segnale sonoro.

**Span Posner:** Questa prova è costituita da un compito di memorizzazione di lettere e un compito secondario di orientamento automatico dell'attenzione (Posner, 1980). Nella Figura 3.2 è illustrata la struttura della prova: dopo la presentazione della lettera sullo schermo compaiono 4 quadrati, uno di questi lampeggia per 200 ms (cue) indicando la posizione del pallino target che comparirà dopo un SOA di 100, 150 o 200; ai soggetti è richiesto di premere la barra spaziatrice del computer non appena visualizzano il pallino. Il 5% delle prove sono catch trials: un quadrato lampeggia ma il pallino target è assente e i soggetti sono tenuti a non premere il pulsante di risposta. Nella Tabella 3.1.1 sono rappresentati gli Intervalli 1 e 2: nell'Intervallo 1 viene presentato lo schermo bianco tra la presentazione della lettera e l'item del compito Posner; l'Intervallo, invece, 2 è posto tra l'item del compito Posner e la presentazione della lettera successiva. Le durate degli Intervalli 1 e 2 per gli item con SOA di 100 ms sono le seguenti: 1300 e 1000, 800 e 1500, 1800 e 500. Al fine di mantenere il tempo totale costante, la durata maggiore degli altri SOA (cioè dei SOA di 150 o 200 ms) viene sottratta dall'Intervallo 2, per cui negli item con SOA 150 si avranno le seguenti triplette di intervalli: 1300 e 950, 800 e 1450, 1800 e 450; e negli item con SOA 200: 1300 e 900, 800 e 1400, 1800 e 400. Nella condizione con due item i SOA sono stati combinati in modo che il SOA del primo item e quello del secondo non fossero mai identici. Nella Tabella 3.1 sono riportati i valori degli Intervalli 1, 2 e 3 nella condizione 2. Ciascuna delle combinazioni di durate di SOA e intervalli è presente in egual misura all'interno della prova. Ciascuna lettera è preceduta da 200 ms di schermo bianco, rappresentati nelle Figure 3.1.2 e 3.1.3 dalla dicitura "+ 200 ms" nell'ultimo intervallo della sequenza prima della lettera successiva.

SOA 1	SOA 2	Intervallo 1	Intervallo 2	Intervallo 3
100	200	500	600	300
100	150	500	600	350
150	100	700	600	150
150	200	700	200	450
200	100	900	200	300
200	150	900	200	250

*Tabella 3.1.1: tempi dei SOA e Intervalli 1, 2 e 3 nello Span-Posner della Condizione 2.*

**Span-Antisaccade:** costituito da un compito di memorizzazione di lettere e un compito secondario tipo antisaccade task (Hallett, 1978). Dopo la presentazione della lettera, appare un pallino lampeggiante al lato dello schermo, successivamente al lato opposto dello schermo compare una

freccia che rimarrà visibile per 180 ms e sarà coperta da una maschera costituita da una griglia bianca e nera (per un maggiore dettaglio sui tempi di presentazione vedere Figura 3.3). Il pallino è rappresentato da un cerchio di 18 mm che alterna colore rosso e verde per 200 ms, posto a 10 cm a destra o sinistra della metà dello schermo. La freccia è di colore nero ed è posta nel punto all'esatto opposto dello schermo rispetto al pallino, ed è lunga 8 mm<sup>2</sup>.

I soggetti dovranno rispondere alla presentazione delle frecce premendo il tasto Y della tastiera del computer se la freccia indica in basso e il tasto B se la freccia indica in alto; come si nota dalla Figura 2, la posizione dei tasti di risposta è opposta rispetto alla direzione della freccia per eliminare ogni facilitazione da compatibilità stimolo-risposta e in tal modo incrementare l'esigenza di controllo attentivo (Figura 3.1.4).

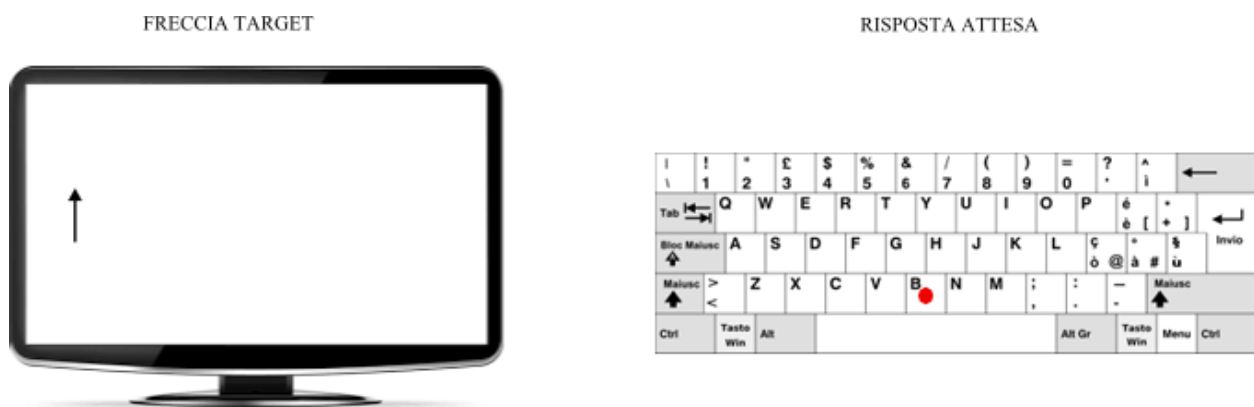


Figura 3.1.4 Esempio delle modalità di risposta dello Span-Antisaccade.

**Prove di Baseline:** sono previste, inoltre, due prove di Baseline, costituite unicamente da item dei compiti interferenti Posner e Antisaccade, che vengono somministrate prima delle rispettive prove di Span. Tali prove sono identiche per le due condizioni: in particolare, ognuna di esse contiene 20 item con tempi e intervalli inter-stimoli della condizione 1, e 20 della condizione 2.

Le prove di Baseline sono misure necessarie per valutare l'omogeneità dei campioni e per confrontare la performance nel compito secondario dello span complesso con la performance nello stesso compito eseguito singolarmente; vengono inoltre utilizzate per allenare i partecipanti, i quali se non raggiungono il 75% di accuratezza ripetono la prova.

<sup>2</sup> Le misure degli stimoli sono state riportate in millimetri perché il software con cui sono state disegnate le prove è stato programmato per proiettare le immagini (disegnate in grafica vettoriale) in modo che mantenessero le stesse dimensioni a seconda della grandezza e risoluzione dello schermo utilizzato.

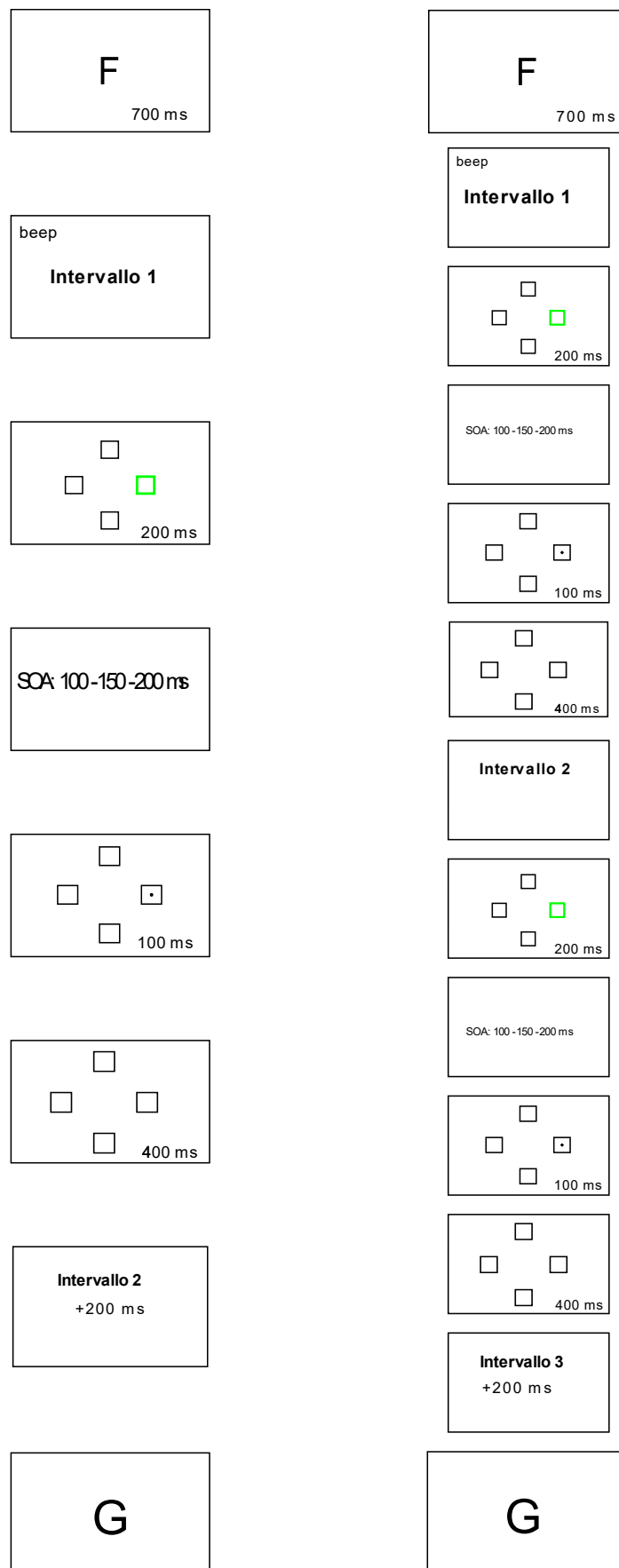


Figura 3.1.2. A sinistra sono rappresentati i tempi di presentazione del Posner-Span nella Condizione 1 a destra nella Condizione 2

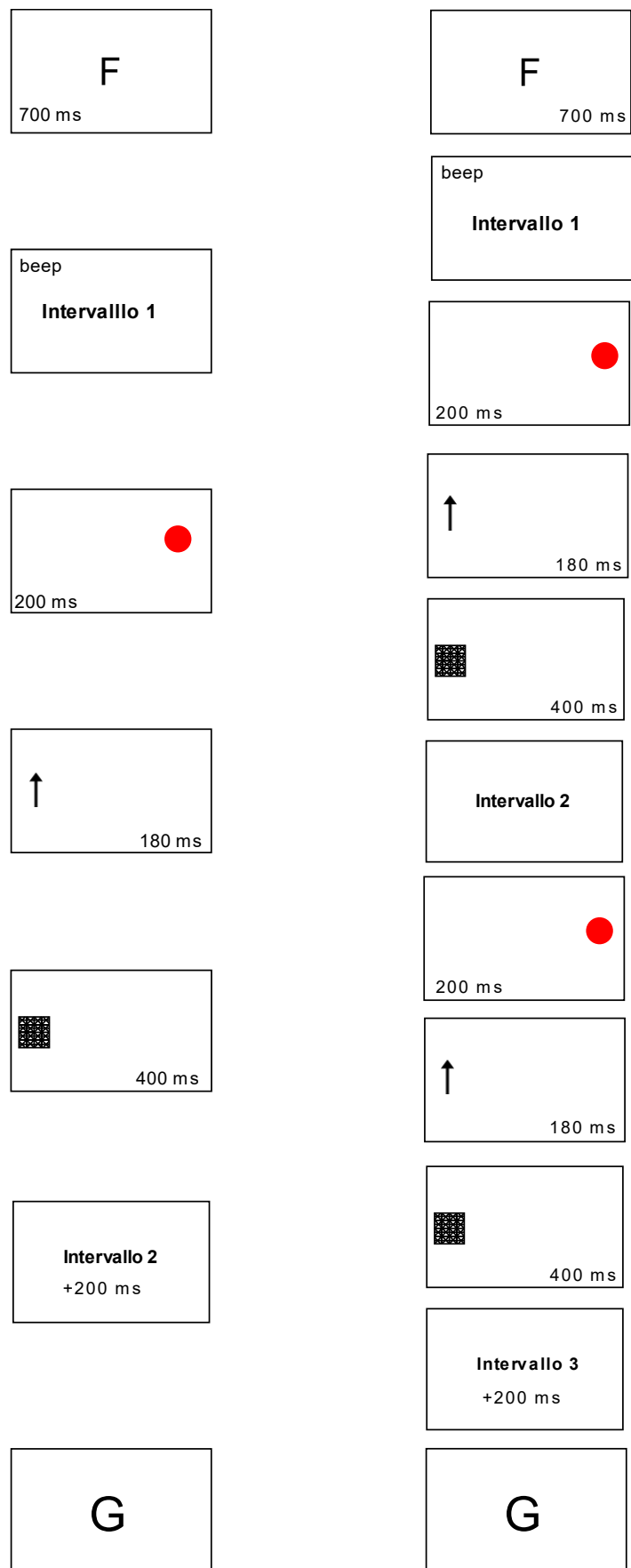


Figura 3.1.3 A sinistra sono rappresentati i tempi di presentazione dello Span-Antisaccade nella Condizione 1 a destra nella Condizione 2



### Prove di M capacity

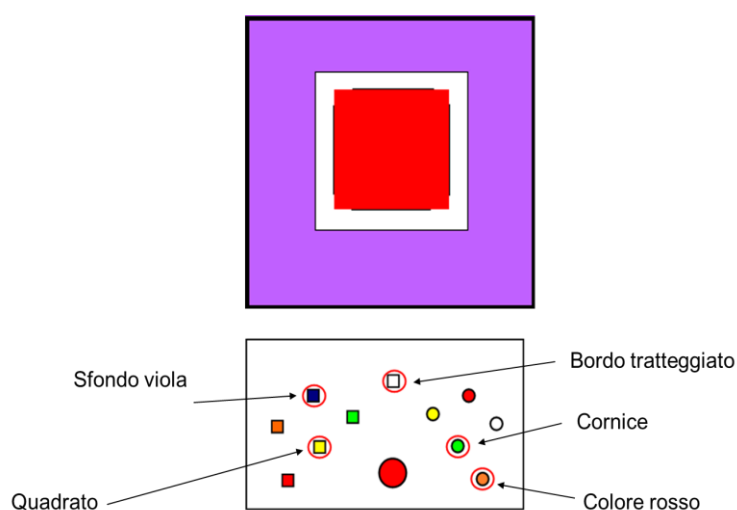
Le prove di M capacity sono un dato fondamentale per le previsioni del modello. Nei prossimi paragrafi, viene quindi riportata una descrizione dettagliata di ciascuna prova.

Le prove di M capacity utilizzate sono le seguenti:

**CSVI:** il Compound Stimuli Visual Information è uno strumento utilizzato da Pascual-Leone (Pascual-Leone, 1970, Pascual-Leone 1980; Pascual-Leone & Johnson, 2005; Ribaupierre, Lecerf, 2006) per rilevare i pattern di crescita dell'M capacity in età evolutiva e negli adulti. Un compito preliminare dei partecipanti è imparare l'associazione tra nove caratteristiche presenti nelle figure stimolo e i pulsanti di una tastiera disegnata a fini sperimentali.

Caratteristica della Figura	Pulsante
Sottolineato	Cerchio Bianco
Cerchietto al centro	Cerchio Giallo
Cornice intorno	Cerchio Verde
"x" al centro	Quadrato Arancio
Figura quadrata	Quadrato Giallo
Contorno tratteggiato	Quadrato Bianco
Colore rosso	Quadrato arancione
Figura grande	Quadrato Verde
Sfondo viola	Quadrato Blu

*Tabella 3.1.2 Elenco delle caratteristiche target degli item del CVSI (colonna di destra) e delle relative risposte attese (colonna di sinistra).*

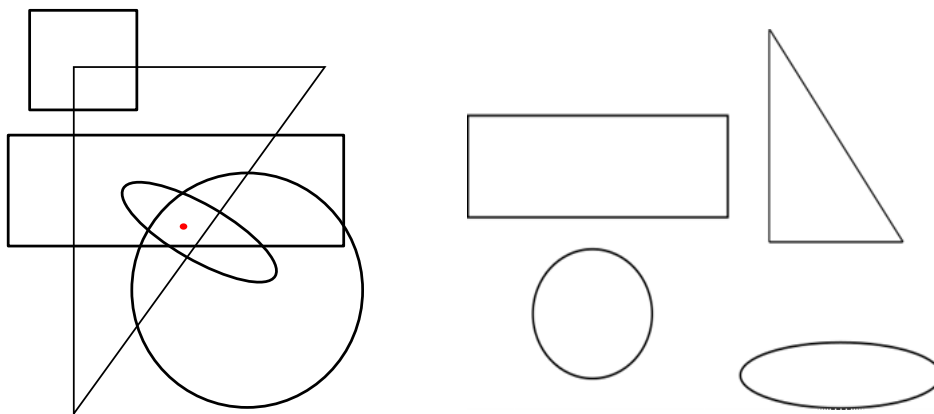


*Figura 3.1.5 Esempio di item del CSVI (parte superiore) e rappresentazione della pulsantiera del test con indicate le risposte attese.*

Prima dell'esperimento, la procedura del CSVI prevede una fase di addestramento in cui i partecipanti imparano tali associazioni: ai soggetti vengono spiegate le istruzioni, affinché rispondano premendo i tasti corrispondenti alle caratteristiche presenti nelle figure e, al termine di ogni risposta, premano il pulsante Enter di colore rosso, più grande rispetto agli altri pulsanti e posto al centro della pulsantiera. Quando nella figura non è presente nessuna caratteristica rilevante il soggetto deve premere solamente il pulsante Enter. In questa fase vengono mostrate 72 figure, ossia 8 figure per ognuna delle 9 caratteristiche da imparare e non vengono registrate le risposte dei partecipanti.

Successivamente, viene introdotta la fase di pratica composta da 5 blocchi da 10 figure. In ogni figura è presente solo una caratteristica target; dopo ogni risposta il computer restituisce il feedback e la percentuale di risposte corrette. Il primo blocco viene ripetuto se il soggetto compie più di un errore, mentre i blocchi successivi vengono ripresentati se i partecipanti commettono anche un solo errore. Nel primo blocco le figure rimangono visibili finché i partecipanti premono il tasto Enter, mentre nel secondo blocco il tempo di presentazione è di 8 secondi e scende a 5 secondi nei blocchi successivi. I partecipanti possono rispondere anche dopo che l'immagine è scomparsa dallo schermo.

Infine, nella fase di test sono presenti un totale di 56 stimoli. Le immagini possono avere un numero di caratteristiche target (classe) che varia da 2 a 8. Vengono somministrate 8 figure per ogni classe di stimoli (e.g. 8 figure con 2 caratteristiche target; 8 figure con 3 caratteristiche etc...). La procedura è divisa in 4 blocchi ciascuno dei quali comprende due figure per ogni classe, cioè 14 figure in totale. Le distribuzioni di risposte corrette del soggetto per ciascuna classe di item vengono confrontate con una serie di distribuzioni di Bose-Einstein con diversi valori del parametro  $k$  e si assegna al soggetto il punteggio di  $M$  capacity corrispondente al parametro che si adatta meglio, (per una spiegazione approfondita della procedura di scoring e validazione del modello probabilistico Bose-Einstein: Morra & Muscella, 2015).



*Figura 3.1.6. Esempio di un item del FIT*

**FIT:** nel Figural Intersection Test (Pascual-Leone, 1969; Pascual-Leone & Baillargeon, 1997), gli stimoli sono composti da due insiemi di figure: a sinistra sono presenti le figure target, a destra queste stesse figure sono sovrapposte. Ai partecipanti è richiesto di segnare con un puntino tutte le figure a destra e segnare nell'insieme di sinistra l'area di intersezione di tutti le figure. In alcuni item, nell'insieme di sinistra sono presenti dei distrattori, ossia figure che non sono presenti a destra (vedi quadrato in alto a sinistra nella Figura 3.6); i partecipanti devono ignorare tali figure. Il test è composto da 36 item, in cui il numero delle figure presenti (ossia il livello dell'item) varia da un minimo di 2 ad un massimo di 9; nel test sono presenti da un minimo di 4 ad un massimo 6 item per ciascun livello. Ogni livello viene superato se si compie al massimo un errore, la stima di M Capacity è il livello più elevato superato.

## Procedura

60 studenti del corso di Scienze Tecniche Psicologiche e Psicologia della Facoltà di Scienze della Formazione dell'Università di Genova sono stati assegnati casualmente alle due condizioni: 30 alla Condizione 1 e 30 alla Condizione 2. L'esperimento prevede due sessioni della durata di 45 minuti circa, una dedicata alla somministrazione delle prove di span, l'altra alle misure dell'M Capacity. Le somministrazioni sono avvenute nel laboratorio del Dipartimento di Scienze della Formazione; è stata utilizzata una mentoniera per mantenere una distanza tra il viso dei partecipanti e lo schermo del computer di 60 cm. Il somministratore è seduto accanto al partecipante e inserisce le lettere richiamate ad alta voce attraverso una tastiera secondaria collegata al computer.

Ogni prova di span complesso era preceduta dalla relativa prova di baseline, l'ordine di somministrazione delle tre prove di span è stato bilanciato. Inoltre, sono stati costruiti 3 diversi set di lettere, e per evitare che eventuali effetti casuali dovuti alla diversa difficoltà dei set di lettere da ricordare influisse in maniera sistematica sulla performance dello span, sono state bilanciate all'interno del campione le associazioni tra set di lettere e prova di memoria.

## Ipotesi

Nel compito interferente dello Span Posner lo spostamento dell'attenzione è indotto direttamente dagli stimoli attraverso un processo bottom-up: i soggetti non compiono uno sforzo cosciente per indirizzare l'attenzione verso l'area dove comparirà il target, ma il fuoco attentivo dei partecipanti viene "attirato" dal segnale luminoso lampeggiante verso il quadrato dove comparirà il pallino target (Posner, 1980). Tale compito generalmente produce RT sotto i 300 ms (Posner, ibidem); secondo il modello TBRS è possibile ipotizzare che il CL sia quindi basso; inoltre, secondo una ricerca del gruppo di Barrouillet e colleghi (2007), il CL vale solo con compiti secondari che richiedono processi

controllati; quindi se il compito è automatico non dovrà esserci decremento.

Secondo il modello TCO è possibile ipotizzare che il compito secondario sottragga una minima quantità di risorse al compito di processing dovuta all'attivazione di schemi necessari per l'esecuzione del compito e che la performance mnestica di conseguenza subisca, quindi, un, seppur lieve, decremento.

Si suppone che il compito interferente dello Span-Antisaccade sia più impegnativo dal punto di vista attentivo poiché prevede la scelta tra due alternative a seconda dello stimolo target (alto o basso) e soprattutto coinvolge funzioni di controllo esecutivo attraverso l'inibizione della risposta automatica a uno stimolo percettivamente saliente e il controllo sul pulsante di risposta che risulta essere l'inverso rispetto alle indicazioni della freccia; ciò si riflette in RT più alti rispetto al Posner e di conseguenza, utilizzando le categorie interpretative del modello TBRS un più alto CL. Secondo il TBRS, quindi i processi altamente controllati dell'Antisaccade, portano ad un decremento sensibile e significativo nella performance di memoria. Tale previsione è condivisa dalla TCO, secondo la quale gli schemi necessari per eseguire il compito dell'Antisaccade sottraggono un numero di unità di risorse centrali tale da creare un significativo calo nella performance mnestica.

Per quanto riguarda la differenza nella performance tra la Condizione 1 e 2, la TCO ipotizza che nella Condizione 2 si registri una performance mnestica peggiore rispetto alla Condizione 1 solo nello Span-Antisaccade; nello Span-Posner l'aumento del numero degli item interferenti potrebbe comportare solamente un lieve peggioramento del compito di memorizzazione, poiché l'elaborazione di ciascun item del compito secondario impegna in misura trascurabile le risorse attentive dei partecipanti. Secondo il modello TBRS, se si assume come automatico il compito secondario dello Span Posner l'aumento del numero di item interferenti non dovrebbe creare un calo della performance mnestica. Nello Span Antisaccade, invece, l'aumento del numero di item, porta ad un CL più alto e quindi ad un peggior ricordo dei memoranda.

Le predizioni del SOB-CS sono più difficili da generare perché tale modello è stato testato per lo più utilizzando materiale verbale. In questo caso l'interazione tra i compiti secondari basati su processi attentivi e l'utilizzo di materiale verbale per il compito di memoria sembra difficilmente interpretabile attraverso i processi di interferenza descritti nel Capitolo 1. D'altra parte il modello di Oberauer e colleghi (2016) si basa su due importanti assunzioni: 1) gli stimoli del compito secondario vengono necessariamente codificati in memoria di lavoro indipendentemente dal dominio a cui appartengono; 2) durante la risposta al compito secondario, la cui durata è rappresentata dai tempi di reazione, il sistema cognitivo dei soggetti è completamente impegnato nell'elaborazione della

risposta motoria e il meccanismo di soppressione dell'interferenza non può intervenire per cancellare gli effetti interferenti delle rappresentazioni degli stimoli del compito di processing codificate in memoria di lavoro. Quindi, è possibile ipotizzare che secondo la teoria di Oberauer possano esserci effetti interferenti di lieve entità anche nello Span Posner, poiché gli stimoli di tale compito vengono comunque codificati in memoria di lavoro creando effetti di interferenza con il materiale mnestico; d'altro canto i bassi tempi di reazione che tale compito produce, fanno sì che il meccanismo di soppressione dell'interferenza abbia più tempo a disposizione per intervenire, riducendo l'effetto interferente sui memoranda. È possibile ipotizzare che la teoria di Oberauer predica di differenze tra le prove simile a quello ipotizzato dalla TCO (Tabella 3.1.4)

CONDIZIONE 1 1 ITEM	SIMPLE SPAN	=	SPAN POSNER	>	SPAN ANTISACCADE
		=		=	>
CONDIZIONE 2 2 ITEM	SIMPLE SPAN	=	SPAN POSNER	>	SPAN ANTISACCADE

*Tabella 3.1.3 Schema delle ipotesi del TBRS*

CONDIZIONE 1 1 ITEM	SIMPLE SPAN	=	SPAN POSNER	>	SPAN ANTISACCADE
		=		≥	>
CONDIZIONE 2 2 ITEM	SIMPLE SPAN	≥	SPAN POSNER	>	SPAN ANTISACCADE

*Tabella 3.1.4 Schema delle ipotesi del TCO-CS e SOB-CS*

#### Campione

Dal campione sono stati esclusi e sostituiti 5 soggetti, di cui 4 perché hanno totalizzato una percentuale di accuratezza nel compito interferente dello span antisaccade inferiore al 75%, e 1 soggetto perché affetto da una condizione medica. Il campione è formato in totale da 42 femmine e 18 maschi con un'età media di 22,27 anni (DS = 3.37).

## Risultati

### M capacity

	Min	Max	M	DS
FIT	4	9	6,82	1,56
CSVI	3	9	6,88	1,68
M	4,5	9	6,85	1,35

Tabella 3.1.5 Valori minimi, massimi, media e deviazione standard dei punteggi alle prove di M Capacity

La differenza tra la media dei punteggi al FIT e al CSVI non è risultata significativa ( $t(58) = -.29$ ;  $p = .77$ ) e le due misure correlano significativamente ( $r(58) = 0.39$   $p = .002$ ). E' stato quindi calcolato l'indice M dalla media dei punteggi dei FIT e CSVI dei partecipanti.

### Prove di span - memorizzazione

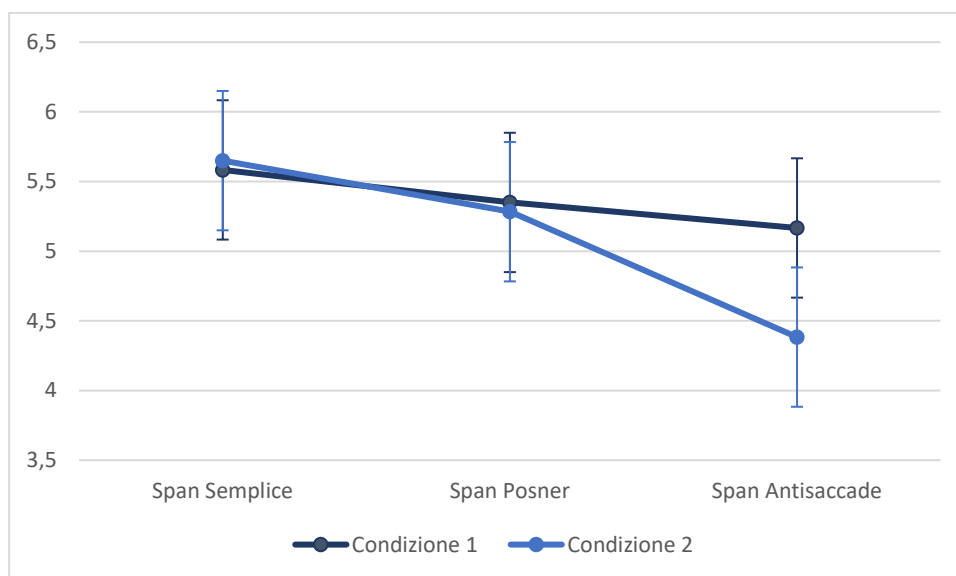


Figura 3.1.7. Grafico dei punteggi alle prove di span nella Condizione 1 e 2

Condizione 1					Condizione 2				
	Min	Max	M	DS		Min	Max	M	DS
Simple	4,00	7,00	<b>5,58</b>	,73	Simple	4,50	7,00	<b>5,65</b>	,66
Posner	4,00	7,00	<b>5,35</b>	,81	Posner	4,00	6,50	<b>5,28</b>	,69
Antisaccade	4,00	6,50	<b>5,17</b>	,77	Antisaccade	2,50	6,50	<b>4,38</b>	,92

Tabella 3.1.6 punteggi minimi, massimi, media e deviazione standard dei punteggi alle prove di span nella Condizione 1 e 2.

È stata eseguita un'analisi della varianza fattoriale mista  $2 \times 3$  (Condizione: [1 o 2]  $\times$  tipologia di span [simple, posner, antisaccade]), in cui il fattore condizione è between e la tipologia di span è within. L'effetto del numero di item ( $F(1, 58) = 2.80$ ; n.s.) non è risultato significativo; al contrario, l'effetto della tipologia di prova di span, ( $F(2,116) = 32.01$ ;  $p < 0.001$ ) e quello dell'interazione ( $F(2,116) = 9.192$ ;  $p < 0.001$ ) sono risultati significativi. In particolare, i test dei contrasti within hanno evidenziato una differenza significativa tra il Simple Span e Span Antisaccade ( $F(1,58)=58.82$ ,  $p < 0,001$ ) e tra il Simple Span e lo Span Posner ( $F(1,58)=9.40$ ,  $p < 0.05$ ). I test dell'interazione evidenziano che la presenza di 1 o 2 item nel compito secondario influisce significativamente sulla differenza dei punteggi tra Simple Span e Span Antisaccade ( $F(1,58)=15.00$ ,  $p < 0.001$ ), ma al contrario la differenza tra Simple Span e Span Posner non è influenzata dalla presenza di 1 o 2 item nel compito secondario ( $F(1,58) = 0.46$ ,  $p = 0.498$ ). In altre parole, conformemente alle ipotesi sperimentali avanzate, l'aumento del numero di item da processare ha causato un decremento significativo della performance mnestica rispetto alla prova di Simple Span solo nello Span Antisaccade.

In particolare, i confronti a coppie hanno evidenziato una differenza significativa tra le due condizioni solo nella prova Antisaccade (Antisaccade:  $t(58) = 3,56$ ,  $p < 0,05$ ; Posner  $t(58) = 0,34$ , n.s., Simple Span: Posner  $t(58) = 0,37$ , n.s.); nella Condizione 1 è stata rilevata una differenza significativa solo tra la prova Antisaccade e il Simple Span ( $t(29) = 3,28$ ,  $p < 0,05$ ; Simple Span e Posner Span:  $t(29) = 1,78$ , n.s.; Antisaccade Span e Posner Span:  $t(29) = 1,32$ , n.s.). Nella Condizione 2 tutte le misure di span differiscono tra loro in maniera significativa (Simple e Posner Span  $t(29) = 2,51$ ,  $p < 0,05$ ; Simple Span e Span Antisaccade  $t(29) = 7,08$   $p < 0.001$ , Span Posner e Span Antisaccade  $t(29) = 5,137$   $p < 0,001$ ).

I dati relativi alla Condizione 2, in cui è stata rilevata una differenza significativa tra il Simple Span e Posner Span, sembrano indicare che non è stata verificata l'assunzione del modello TBRS per cui il compito interferente dello Span Posner non produce nessun tipo di interferenza perché di natura completamente automatica.

## Prove di span – prove di baseline e compiti secondari

Baseline	Posner		Antisaccade	
	M	DS	M	DS
Accuratezza	95,58	5,01	85,18	11,46
Mediana dei TR	281,99	36,38	586,96	59,67
Media dei TR	273,50	40,69	604,01	59,07

*Tabella 3.1.7 valori medi di accuratezza (misurata in percentuali di risposte corrette) punteggi medi e mediani registrati nelle prove di baseline dei compiti Posner e Antisaccade*

Nella Tabella 3.1.7 sono riportati i dati riguardanti le prove di baseline dell'intero campione di soggetti (N=60); l'accuratezza è definita in percentuali di risposte corrette; le medie e le mediane dei tempi di risposta sono calcolate, per ogni soggetto, sui tempi delle sole risposte corrette. Per verificare che non vi siano state differenze dovute al campionamento nelle capacità di elaborazione dei partecipanti nelle due condizioni, sono state confrontate le medie dei sei indici riportati in tabella senza che emergessero differenze significative (Posner: accuratezza:  $t(58)=1,03$ ; mediana  $t(58)=0,35$ ; media:  $t(58)=1,09$ ; Antisaccade: accuratezza:  $t(58)=-1,10$  mediana:  $t(58)=1,90$ ; media:  $t(58)=1,75$ ).

Compiti Processing	Posner				Antisaccade			
	Condizione 1		Condizione 2		Condizione 1		Condizione 2	
	M	DS	M	DS	M	DS	M	DS
Accuratezza	91,98	6,99	91,71	4,67	89,18	6,68	85,46	6,64
Mediane dei TR	272,08	37,85	268,20	31,11	565,65	59,19	529,92	84,00
Medie dei TR	269,42	40,52	267,26	33,75	579,37	57,10	555,48	48,15

*Tabella 3.1.8 valori medi di accuratezza (misurata in percentuali di risposte corrette) punteggi medi e mediani registrati nelle prove di baseline dei compiti di processing dello Span Posner e Span Antisaccade nelle Condizioni 1 e 2.*

Per quanto riguarda la performance nei compiti secondari degli span complessi (Tabella 3.1.8), non è stata osservata alcuna differenza significativa tra Condizione 1 e 2 (Posner: accuratezza:  $t(58)=0,17$ ; mediana  $t(58)=0,43$ ; media:  $t(58)=0,22$ ; Antisaccade: mediana:  $t(58)=1,90$ , n.s.; media:  $t(58)=1,75$ ; n.s), ad esclusione dell'accuratezza dell'Antisaccade, che è risultata inferiore nella Condizione 2 ( $t(58)=2,164$ ;  $p<0,05$ ), ma comunque superiore all'85%. Ciò dimostrerebbe che le performance nei compiti di processing nelle due condizioni sperimentali, nonostante il più alto numero di item nella Condizione 2 sono analoghe.



	Span Posner		Span Antisaccade	
	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 1	Cond. 2
M	0,14	0,25	0,24	0,46
ds	0,01	0,02	0,02	0,03

*Tabella 3.1.9 Valori medi del CL nei compiti di processing dello Span Posner e Span Antisaccade nelle condizioni 1 e 2*

È stato calcolato il CL nelle due prove di span complesso come il rapporto tra la media dei tempi di reazione dei soggetti e il tempo interlettera; nella Condizione 2 tale rapporto è stato moltiplicato per due. Inoltre, alla media dei tempi di reazione sono stati aggiunti 200 ms nell'antisaccade corrispondenti alla durata dello stimolo distraente, tempo in cui, teoricamente, le risorse dei soggetti sono impiegate a inibire la saccade verso tale stimolo e orientare l'attenzione nella direzione opposta, ove comparirà lo stimolo target. Nello Span Posner sono stati aggiunti 150 ms corrispondenti al SOA medio, tempo in cui, sebbene l'attenzione visiva sia orientata automaticamente verso il cue lampeggiante, le risorse dei soggetti sono attivate in preparazione della risposta motoria. Per verificare che nelle diverse condizioni il CL dell'antisaccade fosse maggiore di quello del Posner, sono stati portati avanti test t che hanno evidenziato differenze significative tra CL di Span Posner e Antisaccade, sia per quanto riguarda il Gruppo 1 ( $t(29)=32,90$   $p<0,001$ ) che per il Gruppo 2 ( $t(29)=35,54$   $p<0,001$ ).

#### Differenze individuali

Condizione 1 N = 30	CL Posner	CL Anti	FIT	CSVI	M	Simple	Span Antisaccade	Span Posner	Acc. Proc. Posner	Acc. Proc. Ant.
CL Posner	-									
CL antisaccade	0,28	-								
fit	0,12	-0,01	-							
csvi	<b>0,34*</b>	-0,06	<b>0,47**</b>	-						
M	0,28	-0,04			-					
simple	0,07	-0,25	<b>0,35*</b>	<b>0,48**</b>	<b>0,49**</b>	-				
Span Antisaccade	0,13	-0,30	0,01	0,18	0,07	<b>0,57**</b>	-			
Span Posner	<b>0,30*</b>	-0,20	0,29	<b>0,52**</b>	<b>0,49**</b>	<b>0,57**</b>	<b>0,54**</b>	-		
Acc. Proc. Posner	<b>0,51**</b>	0,16	0,01	0,25	0,17	<b>0,35*</b>	0,30	0,29	-	
Acc. Proc. Ant.	-0,15	<b>-0,61**</b>	0,12	0,23	0,21	<b>0,40*</b>	<b>0,43**</b>	<b>0,34*</b>	0,02	-

*Tabella 3.1.10 Matrice di correlazione dei punteggi alle prove di span, compiti di elaborazione e misure di M Capacity nella Condizione 1.*

Condizione 2 N = 30	CL Posner	CL Antisaccade	FIT	CSVI	M	Simple	Span Anticcade	Span Posner	Acc. Proc. Posner	Acc. Proc. Ant.
CL Posner	-									
CL Antisaccade	0,22	-								
FIT	-0,08	<b>-0,42**</b>	-							
CSVI	-0,24	-0,30	<b>0,31*</b>	-						
M	-0,14	<b>-0,45**</b>			-					
Simple Span	0,02	0,09	0,17	0,08	0,16	-				
Span Antisaccade	0,01	-0,30	0,16	0,18	0,21	0,27	-			
Span Posner	0,22	0,01	-0,06	-0,04	-0,06	0,30	<b>0,32*</b>			
Acc. Proc. Posner	<b>0,48**</b>	0,07	-0,06	-0,26	-0,19	0,17	0,02	0,10		
Acc. Proc. Ant.	0,16	<b>-0,43**</b>	<b>0,42**</b>	<b>0,34**</b>	<b>0,47**</b>	0,11	<b>0,32*</b>	-0,15	<b>0,45**</b>	

*Tabella 3.1.11 Matrice di correlazione dei punteggi alle prove di span, compiti di elaborazione e misure di M Capacity nella Condizione 2.*

N = 60	FIT	CSVI	M	simple
FIT	-			
CSVI	<b>0,39**</b>	-		
M			-	
Simple Span	<b>0,26*</b>	<b>0,32*</b>	<b>0,35**</b>	-

*Tabella 3.1.12 Correlazioni osservate tra misure di M Capacity e Simple Span nel campione intero*

Nelle Tabelle 3.1.10, 3.1.11 e 3.1.12 sono riportate le correlazioni riscontrate tra le misure di Span, le misure di M Capacity e i CL e l'accuratezza nei compiti di processing. L'analisi di tali correlazioni ha l'obiettivo di esaminare le differenze individuali emerse nel campione. Nel campione intero lo Simple Span correla significativamente con tutte le misure di M capacity (replicando i risultati di Morra, 2015).

Nella Condizione 1 il Simple Span, lo Span Posner e lo Span Antisaccade sono correlati tra di loro. Tutte le misure di M capacity correlano con Simple Span. L'indice M e il CSVI correlano anche con lo

Span Posner. Nessuna relazione è stata registrata tra Span Antisaccade e CL, né tra Span Antisaccade e misure di M capacity. È possibile notare che il CL del Posner è legato con una relazione moderata positiva all'accuratezza del compito di processing del Posner, in altre parole i soggetti con tempi di risposta più alti sono anche i più accurati; il CL del Posner è legato con una relazione lineare positiva e significativa allo Span Posner, tale dato apparentemente in contrasto con il TBRS potrebbe essere interpretato dalla teoria di Barrouillet come un prova del fatto che tempi di risposta maggiori sono legati a una migliore prova di memoria, perché il compito Posner avviene in maniera automatica e i tempi di reazione non rappresentano una porzione di tempo in cui le risorse centrali dei soggetti, impegnate nell'elaborazione dello stimolo, possono riattivare le tracce mnestiche.

Si registra una tendenza inversa per quanto riguarda l'Antisaccade, accuratezza e CL del compito di processing sono legate da una relazione negativa moderata. In altre parole, i soggetti che hanno alte percentuali di accuratezza tendono ad avere tempi di risposta più bassi; è possibile ipotizzare che tale tendenza sia legata alle capacità di controllo inibitorio: i soggetti che riescono a inibire la saccade verso lo stimolo distraente e a controllare effetti di congruenza stimolo-risposta tra freccia target e posizione del pulsante riescono a ottenere tempi di risposta più bassi e compiere meno errori. Una buona accuratezza nel compito di processing dell'Antisaccade è infatti legata a migliori performance nel compito dello span Antisaccade, e a tutte le altre prove di span.

Nella Condizione 2, il FIT e l'indice M correlano negativamente con il CL dell'Antisaccade, cioè i soggetti con M Capacity più elevata tendono a essere più veloci nell'Antisaccade in doppio compito. Lo Span Posner correla con lo Span Antisaccade (la correlazione del Simple Span con ognuno dei due span complessi è di poco inferiore alla soglia di significatività). Nessuna misura di span correla con l'M Capacity o con misure di CL. Le percentuali di accuratezza dello Span Posner sono legate a CL del compito di processing dello Span Posner più alti, ma a differenza della Condizione 1 si è persa la significatività della relazione positiva Span Posner e accuratezza del compito di processing; si ricordi che nella Condizione 2 il compito secondario dello Span Posner ha avuto un effetto interferente significativo poiché in questa prova di memoria si sono registrati punteggi minori rispetto allo Simple Span. Per quanto riguarda l'accuratezza del compito di processing dell'Antisaccade vi sono correlazioni positive e significative con tutte le misure di M Capacity, con le percentuali di accuratezza del compito di processing dello Span Posner e una correlazione negativa con il CL dell'Antisaccade. È da notare che, a differenza di quanto è ipotizzato dal TBRS, in entrambe le condizioni l'indice di processing che è maggiormente correlato con lo span Antisaccade, è proprio l'accuratezza nel compito secondario e non il CL

N = 60		M Capacity			BL Posner				BL Antisaccade			
		fit	csvi	M	ACC.	MDN	M	indice P	ACC	MDN	M	Indice P
M Capacity	fit	1										
	csvi	<b>0,39**</b>	1									
	M			1								
BL Posner	ACC.	-0,08	0,05	-0,02	1							
	MDN	<b>-0,27*</b>	-0,02	-0,17	<b>0,52**</b>	1						
	M	<b>-0,25*</b>	0,02	-0,13	<b>0,47**</b>		1					
	Indice P	0,20	0,08	0,16				1				
BL Antisaccade	ACC	0,14	<b>0,28*</b>	<b>0,25*</b>	-0,08	-0,08	-0,01	0,01	1			
	MDN	<b>-0,26*</b>	-0,01	-0,16	0,12	0,14	0,12	- 0,02	0,10	1		
	M	<b>-0,35*</b>	-0,06	<b>-0,24*</b>	0,18	0,21	<b>0,25*</b>	- 0,03	0,02		1	
	Indice P	<b>0,37**</b>	<b>0,25</b>	<b>0,37**</b>	-0,19	-0,19	-0,13	- 0,00				1

*Tabella 3.1.13 Matrice di correlazione dei punteggi alle prove M capacity e alle prove di baseline del Posner e Antisaccade.*

Per analizzare la relazione tra M Capacity e abilità nei compiti di processing sono state messe in relazione i punteggi FIT, CSVI e indice M con media e mediana dei tempi di reazione e accuratezza delle risposte alle prove di baseline dei compiti Posner e Antisaccade. Inoltre, con l'obiettivo di avere un indicatore unico della performance dei soggetti nei compiti di baseline e nei compiti secondari è stato calcolato l'indice P che rappresenta la media tra i punteggi z delle percentuali di accuratezza e i punteggi z delle mediane dei tempi di reazione con segno invertito. Come si può notare dalla Tabella 3.1.2 anche l'indice P delle prove di baseline è stato inserito nella matrice delle correlazioni. Per quanto riguarda la baseline del Posner possiamo notare che il FIT correla in maniera negativa con mediana e media dei tempi di reazione e in maniera simile a quanto riscontrato nei compiti di processing dello Span Posner c'è una relazione positiva tra accuratezza e velocità dei tempi di reazione indicata da media e mediana. Per quanto riguarda l'Antisaccade, si registrano correlazioni significativa tra accuratezza e CSVI e indice M e correlazioni negative con gli indici di velocità di risposta; inoltre l'indice P correla significativamente con tutte le misure di M Capacity.

E' stata eseguita una regressione lineare multipla stepwise in cui la variabile dipendente è costituita dal punteggio alle prove di Span Posner nella Condizione 1; il punteggio dello Simple Span, le misure di M capacity, il CL del compito di processing, le medie e le mediane dei tempi di reazione, le percentuali di accuratezza, l'indice P, della prova di baseline e del compito di processing sono stati inseriti come variabili indipendenti: il modello finale ha incluso il punteggio del Simple Span e del

CSVI spiegando il 41% della varianza ( $R^2 = .406$ ). È stato ripetuto lo stesso procedimento per la Condizione 2 ma nessuna variabile indipendente è risultata un predittore significativo. Per quanto riguarda lo Span Antisaccade, sono state utilizzate le stesse variabili indipendenti (chiaramente le misure riguardanti la baseline e ai compiti di processing sono quelle relative all' Antisaccade); nella Condizione 1 è stato incluso nel modello lo Simple Span spiegando il 30% della varianza ( $R^2 = .30$ ); nella Condizione 2 il migliore predittore è l'indice P del compito secondario ( $R^2 = .12$ ).

### Conclusioni

Per quanto riguarda le medie dei punteggi di span, nello Span Antisaccade si è osservato un decremento della performance mnestica rispetto al Simple Span, sia nella Condizione 1 che nella Condizione 2; inoltre, come previsto, nella Condizione 2 si è registrata una performance minore rispetto alla Condizione 1 solo nello Span Antisaccade. Per quanto riguarda lo Span Posner, non si è verificata una differenza significativa tra Simple Span e Span Posner nella Condizione 1, non è stata neanche rilevata una differenza significativa nei punteggi dello Span Posner nella Condizione 1 e 2; tuttavia i test post hoc hanno rilevato una differenza significativa tra Simple Span e Span Posner. Questo mette in discussione l'assunzione del TBRS secondo cui sia un compito automatico che non influisce sulla performance mnestica. D'altro canto, nella Condizione 1 si è evidenziata una relazione lineare di segno positivo tra Span Posner e CL del compito di processing; in altre parole, nella Condizione 1 i soggetti che avevano migliori punteggi nel compito di memoria registravano tendenzialmente anche CL più alti. Tale dato, in netto contrasto con le predizioni del TBRS, può essere spiegato da tale teoria sostenendo la natura automatica del compito Posner. Una possibile soluzione a questa contraddizione è che nella Condizione 1 CL del compito di processing dello Span Posner non era abbastanza alto da produrre un decremento della performance mnestica, nella Condizione 2, la presenza di due item ha generato un CL sufficientemente alto da produrre un effetto sulla memorizzazione di lettere. Tale ipotesi lascia aperti alcuni problemi: innanzitutto, non spiega la relazione lineare positiva e significativa riscontrata nella Condizione 1, nel caso l'ipotesi sopra citata si fosse verificata si sarebbero dovute presentare correlazioni non significative. Inoltre, il TBRS non fornisce predizioni precise riguardo alla soglia oltre la quale genera un decremento significativo della performance, e se tale soglia dipenda in maniera esclusiva dal CL o da altre caratteristiche del compito, ad esempio sarebbe lecito chiedersi se tale soglia rimane invariata indipendentemente dal materiale con cui è costruito il compito secondario o dai processi di elaborazione che implica la soluzione.

Per quanto riguarda il compito Antisaccade, per esempio, né nella Condizione 1 né nella Condizione 2 si sono registrate relazioni lineari negative tra Span Antisaccade e CL del compito di processing, ma in entrambi i casi si sono registrate relazioni positive con l'accuratezza; inoltre in entrambe le condizioni è stata rilevata una correlazione negativa tra CL e accuratezza; in altre parole, i soggetti che fanno registrare alte percentuali di correttezza tendono ad avere CL più bassi. Come accennato sopra, le abilità di controllo inibitorio dei soggetti sembrano avere un ruolo nel definire questa tendenza. Sembra comunque dallo studio delle correlazioni che sia l'accuratezza più che il CL a essere legata ai punteggi di Span Antisaccade, nonostante queste due misure siano legate da una relazione negativa; la regressione stepwise, infatti, ha individuato l'indice P come miglior predittore della performance nello Span Antisaccade nella Condizione 2; ciò metterebbe in discussione l'utilizzo del CL come unico fattore per predire l'effetto del compito di processing sulla performance mnestica

Per quanto riguarda l'M Capacity sono state individuate relazioni significative con il Simple Span e lo Span Posner nella Condizione 1. Dai dati della Condizione 2 sono emerse una correlazione negativa tra M Capacity e il CL dell'Antisaccade e una correlazione positiva tra M Capacity e percentuali di accuratezza dello compito di processing dello Span Antisaccade; inoltre lo studio delle relazioni tra gli indici di performance nelle prove di baseline e le misure di M Capacity ha fatto emergere correlazioni negative tra M capacity tempi di risposta dell'Antisaccade e del Posner e correlazioni di segno positivo con percentuali di accuratezza della baseline del compito Antisaccade. Alti punteggi nell'M capacity sembrano quindi essere legati da un lato a migliori performance in compiti di processing e a compiti di storage come il Simple Span e la condizione 1 dello Span Posner, ma le correlazioni con gli Span Complessi come l'Antisaccade non sono significative. A tal proposito, utilizzando le categorie della TCO, è possibile supporre che chi è particolarmente dotato in termini di controllo esecutivo riesca a eseguire in maniera corretta il compito di processing dello Span Antisaccade mantenendo disponibili risorse attentive per il compito di memorizzazione, tale dinamica influirebbe sulla relazione M Capacity e punteggi di Span rendendola non significativa; tuttavia questa risulta essere una possibile interpretazione dei dati che necessita di ulteriori analisi.

## 3.2. Esperimento 2

### Obiettivi

L'obiettivo dell'Esperimento 2 è valutare l'influenza di variabili evolutive sulla performance di span complessi. Per questo motivo le misurazioni coinvolgono due gruppi di età: il primo composto da bambini di circa 10 anni che frequentano la 5° classe della scuola primaria (Gruppo 1), il secondo composto da ragazzi di circa 12 anni che frequentano la seconda classe della scuola secondaria di primo grado (Gruppo 2).

### Ipotesi

Secondo la TCO, si dovrebbe registrare una M Capacity media di circa 4 unità per il Gruppo 1 e 5 unità per il Gruppo 2. Da tale assunzione si può ipotizzare che il Gruppo 1 abbia performance inferiori nei compiti di span rispetto al Gruppo 2.

Secondo il TBRS l'efficienza dei meccanismi di refreshing migliora nel corso dello sviluppo a partire dai 7 anni (Portrat, Camos & Barrouillet, 2009); è possibile ipotizzare quindi che nel Gruppo 2 si registri un CL minore rispetto al Gruppo 1 e di conseguenza performance mnestiche migliori.

### Misure:

I test somministrati sono gli stessi della Condizione 1 dell'Esperimento 1:

- Span di lettere semplice;
- Span-Posner con compito secondario di orientamento automatico dell'attenzione, con un item interferente dopo ogni lettera;
- Span-Antisaccade con compito secondario antisaccade, con un item interferente dopo ogni lettera.

Tuttavia, dopo la somministrazione a un campione pilota è risultata evidente la necessità di apportare alcune modifiche ai compiti secondari per renderli più adatti alle capacità dei bambini, in modo che arrivassero a percentuali di correttezza nei compiti di processing almeno superiori al 75%. Nello Span Antisaccade è stata eliminata l'inversione della risposta: ai bambini è richiesto di premere "y" quando la freccia indica verso l'alto, e "b" quando la freccia è verso il basso. Inoltre, la grandezza delle frecce è stata aumentata del 25%. Nonostante questi cambiamenti, si suppone che il carico cognitivo dell'Antisaccade sia maggiore rispetto al Posner poiché rimane un compito a scelta multipla e ai partecipanti è richiesto un controllo esecutivo per inibire la saccade verso lo stimolo luminoso distraente. Per quanto riguarda il Posner il pallino target è stato colorato di rosso e ingrandito del 25%. Inoltre, prima delle prove di baseline sono state introdotti 12 item di pratica che

i bambini potevano ripetere fino ad arrivare ad una percentuale di correttezza superiore all'70%. Inoltre, in questo esperimento non è presente un Condizione 2 con un maggior numero di item del compito interferente. Per quanto riguarda le misure di M Capacity sono somministrati il CSVI e il FIT come nell'Esperimento 1. È stata prevista una sessione collettiva per la somministrazione del FIT e due sessioni individuali da 45 minuti per la somministrazione delle prove di Span e il CSVI.

## Metodo

### Partecipanti

I partecipanti del Gruppo 1 sono stati raccolti in 3 classi 5<sup>a</sup> della Scuola Primaria Oberto Foglietta, mentre i partecipanti del Gruppo due sono stati raccolti in 3 classi 2<sup>a</sup> della Scuola Secondaria di Primo grado Antonio Gramsci e una classe della Scuola Secondaria di Primo grado Centurione, tutte di Genova Sestri Ponente.

Dal Gruppo 1 sono stati eliminati 6 soggetti perché hanno ottenuto meno del 70% di accuratezza in almeno una delle prove di processing degli span complessi. Nel Gruppo 2, secondo lo stesso criterio di esclusione sono stati esclusi 5 soggetti. Il Gruppo 1 è composto da 30 partecipanti il Gruppo 2 da 40 per un totale di 70 bambini a sviluppo tipico.

	N	Femmine	Maschi	Età media	DS
Gruppo 1	30	14	16	10 anni 6 mesi	2,67
Gruppo 2	40	17	23	12 anni 9 mesi	4,11

*Tabella 3.2.1 Composizione del campione*

## Risultati

### M Capacity

Sebbene il Gruppo 2 abbia fatto registrare punteggi medi superiori in entrambe le prove di M capacity, tali differenze non sono significative (Anova 2x2: M capacity:  $F(1,68)= 1,01$ , n.s.; Gruppo:  $F(1,68)=2,06$ , n.s.; Interazione Gruppo\*M capacity:  $F(1,68)= 0,66$ , n.s.). Il FIT e il CSVI correlano significativamente ( $r(68)= .54$   $p<.001$ ) è stato quindi calcolato l'indice M..

M Capacity	Gruppo 1		Gruppo 2	
	M	Ds	M	Ds
FIT	4,63	1,03	5,18	1,27
CSVI	4,5	1,75	4,95	1,68
M	4,57	1,13	5,07	1,37

*Tabella 3.2.2 Risultati alle prove di M Capacity*



### Prove di span

È stata eseguita un'ANOVA fattoriale mista, in cui il fattore tra i soggetti è costituito dalla tipologia di span e il fattore fra i soggetti dal Gruppo di età. Solamente l'effetto della tipologia di span è risultato significativo (Span:  $F(1,136) = 18,13$   $P < 0,001$ ; Gruppo:  $F(1,68) = 2,68$  n.s.; Span x Gruppo:  $F(1, 68) = 0,58$  n.s.). I test dei contrasti hanno evidenziato che all'interno dell'intero campione c'è una differenza significativa tra i punteggi medi di entrambi gli span complessi e il Simple Span, ma non tra span Posner e Span Antisaccade. I test post hoc hanno evidenziato che nel Gruppo 1 si è registrata una differenza significativa tra Span Semplice e Span Antisaccade, ma non tra Span Semplice e Span Posner e tra Span Posner e Span Antisaccade; nel Gruppo 2, invece, si è registrata una differenza significativa tra Span Semplice ed entrambe le prove di span complesso che non differiscono tra di loro. Non si è assistito ad una differenza significativa tra i due gruppi in nessuna misura.

Gruppo 1					Gruppo 2				
	Min	Max	M	DS		Min	Max	M	DS
Simple	3,00	6,00	<b>4,45</b>	0,79	Simple	3,50	7,00	<b>4,81</b>	0,89
Posner	2,50	5,50	<b>4,12</b>	0,76	Posner	3,00	6,00	<b>4,25</b>	0,69
Antisaccade	1,50	6,50	<b>3,83</b>	0,98	Antisaccade	2,50	5,50	<b>4,09</b>	0,77

Tabella 3.2.3 Punteggi medi alle prove di Span del Gruppo 1 e Gruppo 2.

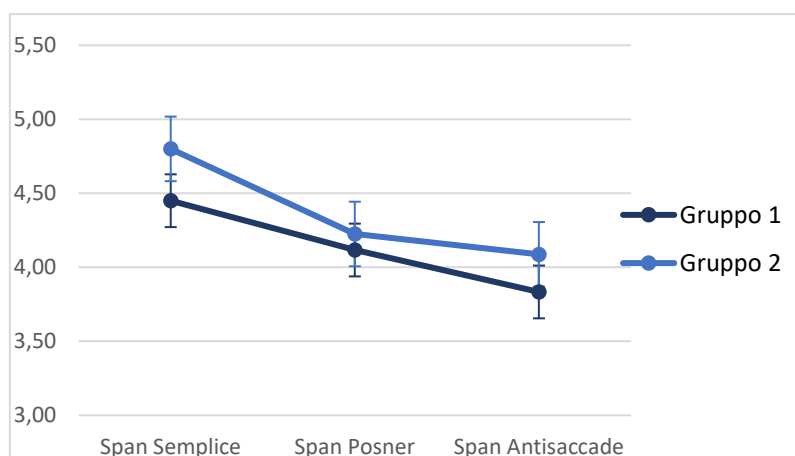


Figura 3.2.1 Nel grafico sono rappresentati i punteggi medi alle prove di span del Gruppo 1 e 2.

## Prove di span – baseline e compiti secondari

Baseline Posner							Baseline Antisaccade						
	Accuratezza %		Mediana RT		Media RT			Accuratezza		Mediana RT		Media RT	
	M	DS	M	DS	M	DS		M	DS	M	DS	M	DS
G1	92,33	5,12	319,68	47,92	321,79	48,64	G1	84,79	8,46	650,72	70,16	651,00	65,71
G2	91,50	8,75	290,00	41,21	288,94	45,47	G2	92,29	5,53	571,36	53,77	575,55	51,62

*Tabella 3.2.4 media e deviazione standard si accuratezza punteggi medi e mediani registrati nelle prove di baseline del compito Posner e antisaccade*

Sono riportate nella Tabella 3.2.4 i dati riguardanti la performance nelle prove di Baseline del Posner e Antisaccade del Gruppo 1 e 2. Sono stati eseguiti dei test t per campioni indipendenti che hanno evidenziato un performance media migliore del Gruppo 2 rispetto al Gruppo 1 in tutte le misure (Baseline Posner: Mediana TR:  $t(68) = 2,72$ ; Media TR:  $t(68) = 2,87$ ; Baseline Antisaccade: Accuratezza:  $t(68) = -4,16$ ; Mediana TR:  $t(68) = 5,23$ ; Media TR:  $t(68) = 5,25$ ; tutti significativi almeno per  $p < 0,05$ ) ad esclusione delle percentuali di accuratezza della Baseline del Posner ( $t(68) = 0,62$ , n.s.). Per quanto riguarda i risultati alla baseline del Posner evidenziano che Gruppo 1 sia più lento del Gruppo 2 ma ugualmente accurato; in altre parole i bambini più grandi (Gruppo 2), riescono a mantenere percentuali di accuratezza molto elevate e simili a quelle dei bambini più piccoli, ma con tempi di reazioni significativamente più bassi rispetto al Gruppo 1. Per quanto riguarda l'Antisaccade, sia l'accuratezza che i tempi di risposta sono migliori nel Gruppo 2.

Span Posner							Span Antisaccade						
	Accuratezza %		Mediana RT		Media RT			Accuratezza		Mediana RT		Media RT	
	M	DS	M	DS	M	DS		M	DS	M	DS	M	DS
G1	83,58	7,14	299,82	42,63	289,81	45,23	G1	82,96	7,12	602,75	58,39	603,71	57,26
G2	86,99	7,09	272,65	50,32	266,99	52,87	G2	89,38	6,58	539,56	57,64	542,47	57,15

*Tabella 3.2.5 media e deviazione standard si accuratezza punteggi medi e mediani registrati nelle prove di processing dello Span Posner e Antisaccade*

Anche nei compiti secondari delle prove di span si sono registrate differenze significative a favore del Gruppo 2 in tutti gli indicatori di performance riportati in Tabella 3.2.5 (Span Posner: Accuratezza:  $t(68) = -1,98$ ; Mediana TR:  $t(68) = 2,44$ ; Span Antisaccade: Accuratezza:  $t(68) = -3,85$ ; Mediana TR:  $t(68) = 4,50$ ; Media TR:  $t(68) = 4,33$ ; tutti significativi almeno per  $p < 0,05$ ) ad esclusione della media dei tempi di risposta del compito di processing dello Span Posner ( $t(68) = 1,94$ ,  $p > 0,05$ ). In generale, è possibile affermare che il Gruppo 2 ha avuto una performance ai compiti di processing migliore del Gruppo 1.

	CL Span Posner		CL Span Antisaccade	
	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 1	Gruppo 2
M	0,14	0,13	0,24	0,22
DS	0,01	0,01	0,02	0,02

*Tabella 3.2.6 media e deviazione standard dei valori di CL registrati nello Span Posner e Antisaccade dai due gruppi di soggetti*

È stato calcolato il Cognitive Load per ciascuna condizione e gruppo (Tabella 3.2.6). È stata eseguita un'ANOVA 2X2 mista in cui fattori sono il Gruppo (within) e la prova di Span Complesso (between). Entrambi i fattori hanno un effetto significativo (Span Complesso:  $F(1, 68) = 1875,93$ ,  $p < 0.001$ ; Gruppo:  $F(1, 68) = 20,95$ ,  $p < 0.001$ ;) ma non la loro interazione ( $F(1, 68) = 3,74$ , n.s.). Sono quindi risultate significative le differenze tra i CL in base alla tipologia di prova di span complesso e gruppo di età, ma tali differenze non subiscono effetti dell'interazione di queste due variabili. In particolare, i confronti a coppie dell'interazione hanno fatto emergere una differenza significativa tra Gruppo 1 e 2 nei valori di CL di entrambi gli span complessi.

Nel campione di adulti lo Span Posner nella condizione con un solo item del compito interferente non generava un peggioramento della performance mnestica, mentre nei Gruppi 1 e 2 di questo esperimento tale differenza è significativa. Inoltre, l'eliminazione dell'inversione della risposta nel compito di processing dello Span Antisaccade prevista in questo esperimento ha portato a un calo della performance mnestica nello Span Antisaccade molto simile a quello generato dallo Span Posner. È da ricordare però che il CL e i tempi di risposta rilevati nel compito Antisaccade sono significativamente più alti in entrambi i gruppi; ciò però non ha generato una differenza nella performance mnestica.

## Differenze individuali

N = 70	Età	Span semplice	Span Posner	CL Span Posner	Span Antis.	CL Span Antis.	FIT	CSVI	M	Acc. Proc. Ant.	Acc. Proc. Posner
Età	-										
Span semplice	<b>0,21*</b>	-									
Span Posner	0,12	<b>0,34**</b>	-								
CL Span Posner	<b>-0,31**</b>	<b>-0,25*</b>	-0,12	-							
Span Antisaccade	0,13	<b>0,42**</b>	<b>0,28**</b>	0,15	-						
CL Span Antisaccade	<b>-0,58**</b>	-0,14	-0,14	<b>0,43**</b>	<b>-0,25*</b>	-					
FIT	<b>0,22*</b>	<b>0,20*</b>	<b>0,21*</b>	-0,11	0,17	-0,17	-				
CSVI	0,13	0,16	<b>0,23**</b>	-0,08	0,19	<b>-0,25**</b>	<b>0,54**</b>	-			
M	0,19	<b>0,20*</b>	<b>0,29**</b>	-0,11	<b>0,29*</b>	<b>-0,25**</b>			-		
Acc. Proc. Ant	<b>0,37**</b>	0,13	0,07	-0,19	0,12	-0,13	<b>0,29*</b>	<b>0,34**</b>	<b>0,36**</b>	-	
Acc. Proc. Posner	<b>0,25*</b>	0,06	0,11	0,23	0,21	-0,10	0,17	0,04	0,11	<b>0,28*</b>	-

Tabella 3.2.8 Correlazion, prove di span, CL, misure di M Capacity e accuratezza nei compiti di processing

	Simple Span	Span posner	CL Posner	SPan Antis.	CL Antis.	fit	csvi	M	Acc. Proc. Ant.	Acc. Proc. Posner
Simple Span										
Span posner	<b>0,30</b>									
CL Posner	-0,17	-0,10								
SPan Antisaccade	<b>0,42</b>	<b>0,27</b>	-0,11							
CL Antisaccade	-0,03	-0,09	<b>0,33</b>	<b>-0,20</b>						
fit	0,14	0,18	-0,04	0,15	-0,07					
csvi	0,13	0,22	-0,05	0,18	<b>-0,22</b>	<b>0,53</b>				
M	0,15	<b>0,23</b>	-0,05	0,19	-0,18					
Acc. Proc. Ant	0,07	0,03	-0,09	0,08	0,07	<b>0,23</b>	<b>0,31</b>	<b>0,32</b>		
Acc. Proc. Posner	0,01	0,09	<b>0,33</b>	0,18	0,03	0,12	0,01	0,06	<b>0,21</b>	

Tabella 3.2.8 Correlazion, prove di span, CL, misure di M Capacity e accuratezza nei compiti di processing con parzializzazione dell'età. Sono evidenziate in neretto le correlazioni significative

Dallo studio delle correlazioni sono emerse i seguenti dati: per quanto riguarda l'età sono emerse correlazioni positive con Span Semplice e FIT e negativa con i CL degli span complessi. Le tre misure di span correlano tra loro significativamente. Lo span Semplice correla negativamente con il CL dello Span Posner e positivamente con FIT e indice M. Lo Span Posner correla significativamente con tutte le misure di M Capacity, ma non con il rispettivo CL. Lo Span Antisaccade correla negativamente con il proprio CL e positivamente con l'indice M. Il CL dello Span Antisaccade correla negativamente con CSVI e indice M e positivamente con il CL dello Span Posner. Le percentuali di accuratezza nei compiti di processing degli span complessi correlano positivamente con l'età, l'accuratezza dello Span Antisaccade, a differenza di quella dello Span Posner, correla significativamente con tutte le misure di M Capacity.

Parzializzando l'età (Tab. 3.2.8), le correlazioni tra le prove di Span rimangono significative così come la relazione negativa tra CL e Span Antisaccade. Per quanto riguarda l'M Capacity risultano significative le relazioni tra FIT e CSVI, la correlazione negativa tra CSVI e il CL dell'Antisaccade e le correlazioni positive con l'accuratezza dell'Antisaccade. Sembra quindi che, parzializzando l'età l'M Capacity perda le correlazioni positive con il Simple Span e lo Span Antisaccade, ma non con lo Span Posner.

Similmente all'Esperimento 1, è stata eseguita una regressione multipla stepwise in cui sono stati utilizzati come variabili indipendenti, la media, la mediana, le percentuali di accuratezza e l'indice P della baseline e del compito secondario dello Span Posner, le misure di M Capacity e l'età. Nel modello di regressione multipla stepwise sono stati inseriti il Simple Span e l'indice M che spiegano il 15% della varianza ( $R^2=0,15$ ) della variabile dipendente. Per quanto riguarda lo Span Antisaccade, nel modello sono stati inseriti il punteggio al Simple Span e la mediana dei tempi di reazione nel compito secondario ( $R^2=0,21$ ).

## Discussione

Per quanto riguarda le ipotesi della TCO non si è verificata una differenza significativa tra i due gruppi di età nei punteggi di M Capacity contrariamente alle predizioni; d'altra parte, neanche i risultati degli span di memoria hanno fatto registrare differenze significative tra i due gruppi. Quest'ultimo, chiaramente, non può essere considerato un dato a favore della TCO, ma risulta coerente con essa, in quanto a una differenza non significativa nella M capacity corrispondono differenze non significative nelle tre misure di span. Inoltre, sono state registrate correlazioni positive tra M Capacity e tutte le misure di Span e il CL del compito di processing dell'Antisaccade e l'accuratezza

del compito di processing nello Span Antisaccade e Posner. Tali correlazioni, ad esclusione di quelle tra M Capacity e accuratezza del compito di processing dell'Antisaccade, non sono risultate significative parzializzando l'età, ma questa operazione risulta particolarmente penalizzante per le misure di M Capacity, si ricordi infatti che l'M Capacity cresce con l'età durante l'età evolutiva, escludendo la varianza causata dall'età si esclude in parte anche varianza spiegata dall'M Capacity. Conformemente alle ipotesi del TBRS sono state registrate delle correlazioni negative tra Span Antisaccade e il CL del medesimo compito che rimanevano significative anche parzializzando l'effetto dell'età. Nonostante si sia assistito ad un calo della performance nello Span Posner rispetto allo Span Semplice, la correlazione con il relativo CL non è significativa e i migliori predittori di questa misura sono i punteggi allo Span Semplice e l'indice M. Ma i punti più critici per il modello di Barrouillet sono i seguenti:

1. le migliori abilità di elaborazione del Gruppo 2 emerse dalla migliore performance nelle prove di baseline e nei compiti di processing, da un minore CL medio in entrambi i compiti secondari, e dalla correlazione moderata tra i valori di CL e età, non hanno generato una performance di memoria migliore di quella del Gruppo 1;
2. Il compito di processing del Posner Span in entrambe i gruppi ha generato valori medi di CL più bassi rispetto a compito di processing dello Span Antisaccade, ciò nonostante in entrambi i gruppi le differenze tra punteggi di Span Posner e Span Antisaccade non sono significative.

Per concludere, sebbene i risultati siano parzialmente coerenti con La TCO, risultano particolarmente difficili da spiegare utilizzando le categorie interpretative del modello TBRS.

# Simulazione modelli

## Il modello TCO-CS

Come sottolineato in precedenza il modello della TCO utilizzato per predire le performance nelle span dell'Esperimento 1 deriva da un adattamento del modello di Morra (2000, 2015) degli span di parole. Per chiarezza il modello illustrato di seguito verrà indicato con il nome Theory of Constructive Operators – Complex Span.

Come si può notare dalle Tabella 5.1 il procedimento analitico alla base del TCO-CS, è lo stesso del modello di Morra (2015); per simulare la performance negli span complessi sono stati inseriti i passaggi che rappresentano il compito di processing, i quali causano una diminuzione dell'attivazione degli item che oltrepassano la capacità dell'operatore M; tale diminuzione è rappresentata attraverso multipli del parametro  $\alpha$ .

Nella Tabella 5.1 è illustrata la task analysis dello Span Posner in una serie di lettere di lunghezza 5 portata avanti da un soggetto con una M Capacity e + 5 unità. Il primo passaggio rappresenta la lettura della prima lettera ( $\psi\text{Cod W1}$ ) che attiva il relativo schema figurativo  $\phi\text{W1}$ <sup>3</sup>. Nel passaggio successivo rimane attivato lo schema  $\phi\text{W1}$ , inoltre, viene codificato il cue luminoso che, nel compito di processing dello Span Posner, indica il quadrato in cui comparirà il pallino target; esito di tale codifica è lo schema esecutivo  $\varepsilon\text{Posner}$  che rappresenta l'insieme di operazioni necessarie per completare il compito di processing. Nel passaggio successivo, viene mantenuto attivo lo schema  $\phi\text{W1}$  e viene codificato il pallino target che porta alla risposta motoria. Nei passaggi 4, 5 e 6 la stessa procedura è applicata alla seconda lettera; viene però attivato anche lo schema operativo  $\psi\text{Ord}$  che rappresenta l'ordine con cui dovranno essere richiamate le lettere durante la fase di recall. Nel passaggio 8, lo schema figurativo  $\phi\text{W3}$ , relativo alla terza lettera, oltrepassa i limiti dell'M Capacity del soggetto e perde attivazione; come si può notare nella colonna "Attivazione degli schemi", mentre gli schemi  $\phi\text{W1}$  e  $\phi\text{W2}$  hanno attivazione pari a 1, lo schema  $\phi\text{W3}$ , in questo passaggio, assume attivazione  $\alpha$ . Nei passaggi 9 e 10, l'attivazione di  $\phi\text{W3}$  continua a diminuire e tale diminuzione è rappresentata da multipli di  $\alpha$ . Nel passaggio 11, anche  $\phi\text{W4}$  eccede la capacità dell'operatore M, per cui inizia anch'esso a perdere attivazione. Il parametro  $\alpha$  relativo allo schema  $\phi\text{W4}$  è elevato al quadrato poiché vi sono due schemi in progressiva disattivazione ( $\phi\text{W3}$  e  $\phi\text{W4}$ ), i

---

<sup>3</sup> Sono indicati con  $\psi$  gli schemi operativi e con  $\phi$  gli schemi figurativi; inoltre si mantiene la simbologia usata in Morra (2015), in cui gli stimoli da ricordare erano sequenze di parole, per cui, per esempio,  $\phi\text{W1}$  indica le rappresentazioni mentali della prima; in questo caso però i memoranda sono consonanti, per cui  $\phi\text{W1}$ , per esempio, è la rappresentazione mentale della prima consonante presentata.

cui parametri  $a$  vengono moltiplicati per  $a^2$  fino al passaggio 14. In questo passaggio lo schema  $\phi W5$  si aggiunge agli schemi che eccedono l'M Capacity e il relativo parametro  $a$  viene elevato al cubo, e, similmente, i parametri degli schemi  $\phi W3$  e  $\phi W4$  vengono moltiplicati per  $a^3$ . Nel passaggio 16 viene codificato il segnale che indica la fine della presentazione delle lettere e la richiesta di ricordarle e viene perciò attivato lo schema esecutivo  $\epsilon Rec$  che rappresenta le operazioni necessarie per la fase di recall. Nei passaggi 16 e 17 gli schemi  $\phi W1$  e  $\phi W2$  vengono richiamati con probabilità  $c(1-2r)$ ; come nel modello di Morra (2015),  $c$  rappresenta la probabilità che ogni lettera sia stata codificata correttamente e  $(1 - 2r)$  rappresenta la probabilità che il richiamo di ogni lettera avvenga nell'ordine corretto<sup>4</sup>. Nei passaggi successivi  $\phi W3$  verrà recuperato con una probabilità di successo pari a  $a^{25}c(1-2r)$ ,  $\phi W4$  pari a  $a^{23}c(1-2r)$  e, per quanto riguarda  $\phi W5$ ,  $a^{18}c$ . La lista ha quindi una probabilità di recupero corretto pari al prodotto delle probabilità di recupero corretto di tutte le singole lettere, cioè  $a^{66}c^5(1-2r)^4$ .

La task analysis della Condizione 2 dello Span Posner è rappresentata in Tabella 5.2. Come si può notare i primi 3 passaggi sono identici a quelli della Condizione 1; dal passaggio 4 si aggiungono gli step che rappresentano il secondo item presente in questa condizione. Il maggior numero di passaggi porta a un progressivo decremento dell'attivazione degli schemi che si traduce in diminuzione della probabilità di richiamare correttamente le lettere; la probabilità di recupero corretto dell'intera lista risulta infatti risulta pari a  $a^{93}c^5(1-2r)^4$ .

Nella Tabella 5.3 è rappresentata la task analysis dello Span Antisaccade nella Condizione 1. Nel passaggio 1 avviene la codifica della lettera da memorizzare che attiva il relativo schema figurativo  $\phi W1$ . Nel passaggio successivo viene codificato il cue luminoso che compare al lato opposto dello schermo rispetto alla freccia target, ciò genera l'attivazione dello schema esecutivo  $\epsilon Anti$ . Nel passaggio 3 viene codificata la freccia target che genera uno schema figurativo in cui è rappresentata la direzione della freccia; a questo punto è necessario ricordare che, in questo compito, ai partecipanti è richiesto di rispondere in maniera inversa rispetto al verso indicato dalla freccia; infatti nel passaggio 4 lo schema  $\phi arrow$  è soggetto ad un'inversione ( $\psi invert$ ) e tale processo è accompagnato dalla selezione veloce ( $\psi fastsel$ ) del pulsante adeguato. Nel passaggio 5 viene codificata la seconda lettera; nei passaggi 6 e 7 lo schema figurativo  $\phi W2$  rimane attivato dall'M Capacity ma nel passaggio 8 gli schemi necessari per la soluzione del compito di processing sono 3 ( $\phi arrow$ ,  $\psi invert$ ,  $\psi fastsel$ ) e pertanto le restanti due unità di M Capacity sono utilizzate per

---

<sup>4</sup> La probabilità di ricordare le lettere nell'ordine corretto è stata stimata da Morra (2005, Esperimento 1) e nella presente ricerca si mantengono tali valori:  $(1 - (\text{lunghezza della lista} - 3) * r)$ , in cui  $r$  è una costante uguale a .009 e, nell'esempio presentato in tabella, la lunghezza della lista è 5 per cui:  $(1-2r)$



l'attivazione dello schema  $\phi W1$  e  $\psi Ord$ . Lo schema  $\phi W2$ , a questo punto, eccede la capacità dell'Operatore M e la sua attivazione inizia a decrescere. Questi processi vengono ripetuti per ciascuna lettera e il decremento di attivazione dei parametri  $a$  segue le stesse regole inserite nella descrizione dello Span Posner. La probabilità di ricordo corretto dell'intera lista qui risulta pertanto  $a^{119}c^5(1-2r)^4$ . Si può notare che mentre ogni item del compito Posner viene eseguito in due step ognuno dei quali richiede di dedicare risorse centrali a un solo schema specifico per il compito, ogni item del compito antisaccade viene eseguito in tre step, l'ultimo dei quali richiede di dedicare M capacity a tre schemi specifici; viene così formalizzata la diversa difficoltà e conseguente impiego di risorse dei due compiti secondari.

Nella Tabella 5.4 è riportata la task analysis dello Span Antisaccade nella Condizione 2, come si può notare tra la codifica di una lettera alla successiva sono inseriti 6 passaggi che rappresentano i due item del compito di processing. Ciò si riflette su un più bassa probabilità di richiamo corretto della lista, che nella Condizione 2 è pari a  $a^{208}c^5(1-2r)^4$ .

Nelle tabelle sono riportati esempi relativi a un ipotetico soggetto con M Capacity di e + 5, affinché il modello produca le predizioni della performance del campione intero alle prove di span, è necessario calcolare la probabilità di richiamo corretto delle serie di lettere per ciascuna lunghezza (da 2 a 7) per ogni valore di M osservato nel campione (5,6,7,8 9), per ogni compito di Span (Semplice, Span Posner, Span Antisaccade) e ogni condizione sperimentale. Tali probabilità sono riportate nelle Tabelle 5.5 e 5.6, per quanto riguarda, invece, le predizioni di performance in compiti di span semplice si rimanda al modello già pubblicato da Morra (2015).

CONDIZIONE 1						
POSNER						
M	2	3	4	5	6	7
4	$c^2$	$(c^3)*a^5$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^56$	$(c^5)*((1-2r)^4)*a^119$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^220$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^328$
5	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^24$	$(c^5)*((1-2r)^4)*a^66$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^136$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^246$
6	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^6$	$(c^5)*((1-2r)^4)*a^28$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^74$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^152$
7	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$(c^5)*((1-2r)^4)*a^7$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^32$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^83$
8	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$(c^5)*((1-2r)^4)$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^8$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^26$
9	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$(c^5)*((1-2r)^4)$	$(c^6)*((1-3r)^5)$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^9$
ANTISACCADE						
M	2	3	4	5	6	7
4	$(c^2)*a^3$	$(c^3)*a^17$	$(c^4)*(1/2)*a^52$	$c^5*((1-2r)^4)*a^198$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^347$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^552$
5	$c^2$	$(c^3)*a^4$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^52$	$c^5*((1-2r)^4)*a^119$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^225$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^383$
6	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^21$	$c^5*((1-2r)^4)*a^61$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^133$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^250$
7	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^5$	$c^5*((1-2r)^4)*a^25$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^70$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^153$
8	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$c^5*((1-2r)^4)*a^6$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^29$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^79$
9	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$c^5*((1-2r)^4)$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^7$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^33$

Tabella 5.5 Prob. di richiamo corretto per le prove di span complesso in Condizione 1, per ogni valore di M Capacity

CONDIZIONE 2						
POSNER						
M	2	3	4	5	6	7
4	$c^2$	$(c^3)*a^9$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^{84}$	$(c^5)*((1-2r)^4)*a^{180}$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{315}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{555}$
5	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^{34}$	$c^5*((1-2r)^4)*a^{93}$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{198}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{364}$
6	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^8$	$c^5*((1-2r)^4)*a^{38}$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{111}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{212}$
7	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$c^5*((1-2r)^4)*a^9$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{42}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{111}$
8	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$c^5*((1-2r)^4)$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{10}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{46}$
9	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$c^5*((1-2r)^4)$	$(c^6)*((1-3r)^5)$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{11}$
ANT1SACCADE						
M	2	3	4	5	6	7
4	$(c^2)*a^6$	$c^3*a^{32}$	$(c^4)*(1/2)*a^{94}$	$c^5*((1-2r)^4)*a^{270}$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{485}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{783}$
5	$c^2$	$c^3*a^7$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^{94}$	$c^5*((1-2r)^4)*a^{208}$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{390}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{653}$
6	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^{36}$	$c^5*((1-2r)^4)*a^{103}$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{224}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{415}$
7	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)*a^8$	$c^5*((1-2r)^4)*a^{40}$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{112}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{240}$
8	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$c^5*((1-2r)^4)*a^9$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{44}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{121}$
9	$c^2$	$c^3$	$(c^4)*((1-r)^3)$	$c^5*((1-2r)^4)$	$(c^6)*((1-3r)^5)*a^{10}$	$(c^7)*((1-4r)^6)*a^{48}$

*Tabella 5.6 Probabilità di richiamo corretto generate dal TCO-CS per le prove di span complesso in Condizione 2, per ogni valore di M capacity osservato.*

In seguito, si sono attribuiti valori costanti a  $c=.995$  e  $r=.009$  e si è stimato liberamente nella condizione Simple il valore di  $a$  che è risultato .984. Il valore di  $a$  così ottenuto è stato quindi inserito nella simulazione di tutte le condizioni (Posner 1, Posner 2, Antisaccade 1 e Antisaccade 2); Attraverso questa procedura sono stati calcolati i valori attesi presentati nella tabella seguente (5.7)

Condizione 1					Condizione 2				
M	f	Span Semplice	Span Posner	Span Antisaccade	M	f	Span Semplice	Span Posner	Span Antisaccade
9	7	6,37	6,35	6,05	9	4	6,37	6,33	5,91
8	7	6,11	6,09	5,50	8	9	6,11	5,92	5,23
7	5	5,68	5,45	4,80	7	7	5,67	5,27	4,44
6	4	5,13	4,74	4,11	6	5	5,12	4,47	3,70
5	7	4,57	4,04	3,48	5	5	4,57	3,76	3,11
		5,61	5,39	4,85			5,63	5,22	4,53
		0,70	0,91	0,99			0,62	0,89	0,94

*Tabella 5.7. Medie attese dal TCO-CS nelle prove di span. Nella colonna "M" sono riportati i valori di M osservati, nella colonna "f" è riportata la frequenza di tali valori e nelle colonne delle prove di memoria sono riportati i valori di span attesi per ciascuna condizione.*

## Il modello TBRS

Per produrre le predizioni del TBRS è stato calcolato per ogni soggetto il CL osservato nelle diverse prove di span, ossia il rapporto tra media dei tempi di reazione al compito di processing e il tempo interlettera (3300 ms), nella Condizione 2 tale rapporto è stato moltiplicato per due poiché tale condizione prevedeva 2 item. Per ottenere il punteggio di span atteso per ciascun soggetto nelle

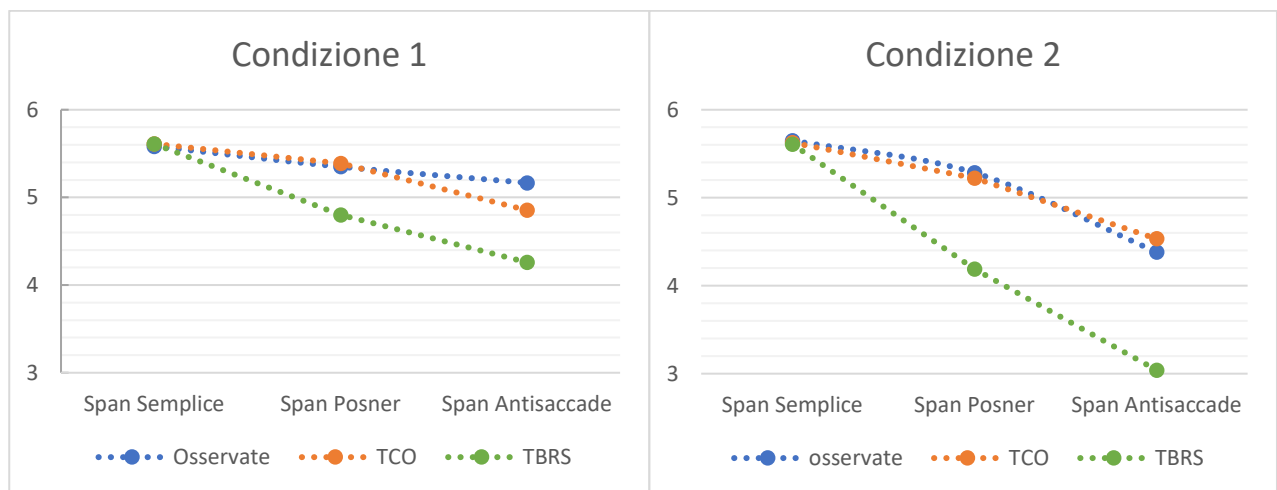
prove di span complesso, il valore del CL ottenuto è stato inserito nella seguente equazione (Barrouillet et al., 2011):  $Span = k (1 - CL)$ , dove  $k$  è il punteggio allo Span Semplice. Siccome dai risultati del campione emerge un effetto interferente del compito del Posner nella Condizione 2, nelle seguenti simulazioni l'assunzione secondo cui tale compito di processing è completamente automatico viene considerata non verificata e vengono calcolati quindi i punteggi attesi sia per la Condizione 1 che per la Condizione 2; verrà, però, analizzata anche l'ipotesi discussa nel precedente capitolo, secondo cui il CL del compito di processing dello Span Posner nella Condizione 1 sia così basso da non impedire le operazioni di refreshing dei memoranda, in questo caso le predizioni del TBRS per la Condizione 1 dello Span Posner non verranno generate e si assumerà che lo span Posner sia uguale al Simple. Nella Tabella 5.8 sono stati riportate le predizioni dei punteggi medi di span prodotte dal modello TBRS.

Condizione 1			Condizione 2		
	Span Posner	Span Antisaccade		Span Posner	Span Antisaccade
M	4,87	4,22	M	4,22	3,06
DS	0,63	0,59	DS	0,50	0,39
CL	0,13	0,24	CL	0,25	0,38

*Tabella 5.8. Media dei punteggi attesi dal TBRS alle prove di span. Nell'ultima riga è inserito il valore del CL medio osservato in quella prova di span complesso.*

## Confronto con i dati osservati

Condizione 1							Condizione 2						
	Span Posner			Span Antisaccade				Span Posner			Span Antisaccade		
	Osservate	TCO-CS	TBR5	Osservate	TCO-CS	TBR5		Osservate	TCO-CS	TBR5	Osservate	TCO-CS	TBR5
M	5,35	5,39	4,87	5,17	4,85	4,22	M	5,28	5,22	4,22	4,38	4,53	3,06
DS	0,81	0,91	0,63	,77	0,99	0,59	DS	0,69	0,89	0,50	0,92	0,94	0,39

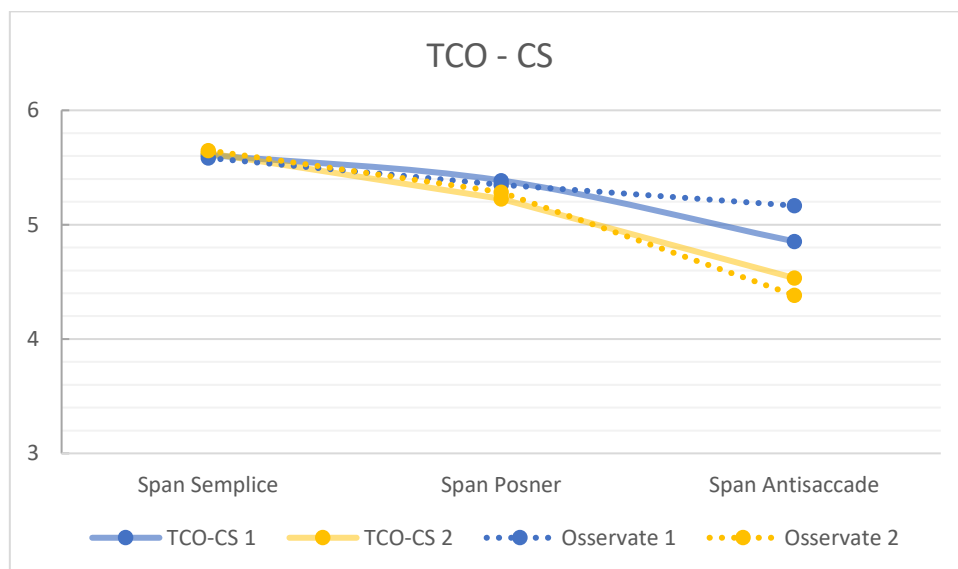


*Nelle Tabelle 5.9 e 5.10 in alto sono riportati i valori medi attesi dei modelli, confrontabili con le medie osservate nel campione. Nella Figura 5.1 e 5.2 sono riportati due grafici in cui sono rappresentati dati osservati e valori attesi per il TCO-CS e il TBR5 divisi per condizione sperimentale.*

La media dei valori attesi dal TCO-CS è stata confrontata con i valori osservati attraverso test t per coppie di misurazioni: per quanto riguarda lo Span Semplice, si sono tenuti in considerazione i punteggi del campione interno (N=60): non sono state riscontrate differenze significative con i punteggi attesi ( $t(59) = -0,01$ ), e la correlazione è risultata significativa ( $r(58) = 0,41$ ,  $p < 0,05$ ), ma tale risultato è ovvio, perché nella condizione Simple Span è liberamente stimato il parametro  $\alpha$  in modo da rispecchiare in modo ottimale il punteggio medio del campione. Nella Condizione 1 dello Span Posner non si sono rilevate differenze significative nei punteggi medi ( $t(28) = -0,25$ , n.s.) e la correlazione è risultata significativa ( $r(28)=0,59$ ,  $p < 0,05$ ). Per quanto riguarda lo Span Antisaccade, la differenza dei punteggi medi non è significativa ( $t(29) = 1,46$ , n.s.), ma la correlazione è sotto la soglia di significatività ( $r(28) = 0,13$ ,  $p > 0,05$ ). Nella Condizione 2 le correlazioni tra i punteggi attesi e osservati negli span complessi non sono significative (Span Posner:  $r(28) = -0,01$ ,  $p > 0,05$ ; Span Antisaccade:  $r(28) = 0,19$ ,  $p > 0,05$ ); ma i punteggi medi non differiscono (Span Posner:  $t(28) = 0,28$ , n.s.; Span Antisaccade:  $t(28) = -0,69$ , n.s.).

Similmente le predizioni del TBRS sono state confrontate con i punteggi rilevati attraverso un test t per coppie di misurazioni. Il TBRS non produce predizioni per quanto riguarda lo Span Semplice, ma per quanto riguarda gli Span Complessi, i punteggi prodotti dal modello si sono rivelati significativamente diversi da quelli osservati (Condizione 1: Span Posner:  $t(28)=3,67$ , n.s., Antisaccade:  $t(28)=7,76$ , n.s.; nella Condizione 2: Span Posner:  $t(28)=7,8$ , n.s., Antisaccade:  $t(28)=8,46$ , n.s.); sono risultate significative le correlazioni tra i punteggi attesi e osservati del Posner ( $r(28)=0,54$ ,  $p<0,05$ ) e dell'Antisaccade ( $r(28)=0,59$ ,  $p<0,05$ ) nella Condizione 1, mentre nella Condizione 2 non vi sono correlazione significative (Posner:  $r(28)=0,25$ , n.s; Antisaccade  $r(28)=0,37$ , n.s.).

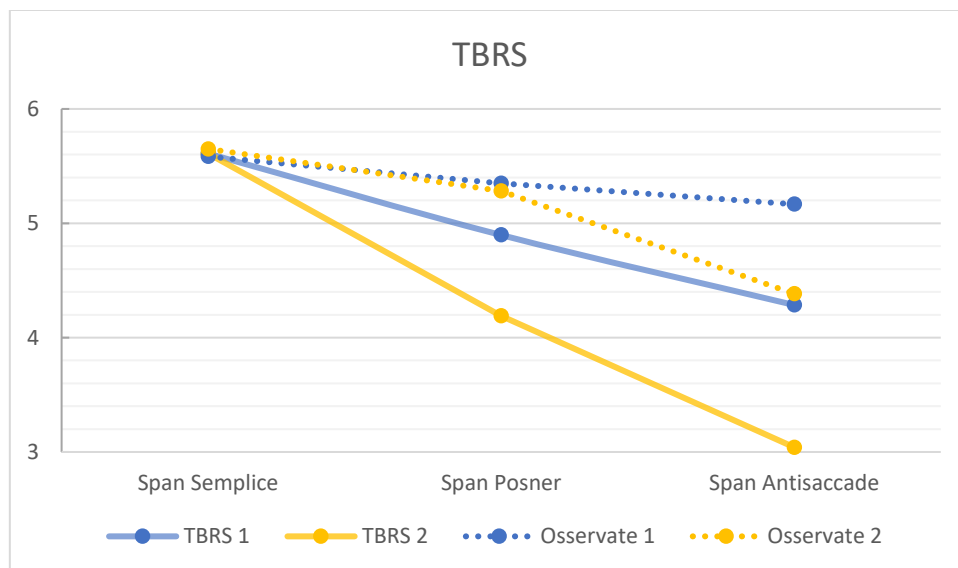
Differenze significative si sono registrate anche tra i punteggi attesi del TCO-CS e del TBRS (Condizione 1:  $t(29)= 3,53$ ,  $p<0,001$ ; Span Antisaccade:  $r(28)= 3,78$   $p<0,05$ ; Condizione 2: Span Posner:  $t(29)= 6,06$ ,  $p<0,001$ ; Span Antisaccade  $t(29)= 9,33$   $p<0,001$ ); è stata rilevata una correlazione significativa valori attesi del modello TCO-CS e TBRS nella Condizione 1 (Span Posner:  $r(29)=0,52$   $p<0,05$ ; Span Antisaccade:  $r(28)= 0,51$   $p<0,05$ ), ma non tra le altre misure della Condizione 2 (Span Posner:  $r(28)=0,25$  n.s.; Span Antisaccade:  $r(28)= 0,40$ , n.s.).



*Figura 5.3. In questo grafico sono riportati i valori attesi del TCO-CS e i valori osservati nelle due condizioni sperimentali*

Per verificare che il pattern delle differenze dei punteggi medi generati dal TCO-CS nelle prove di span sia lo stesso di quello registrato nei dati osservati, è eseguita avanti un'ANOVA 3x2 mista (Condizione  $\times$  tipologia di span). Come nei dati osservati, l'effetto della tipologia di span ( $F(2,116) = 449,09$ ;  $p<0,001$ ) e l'interazione con la Condizione ( $F(2,116)=14,32$   $p<0,001$ ), sono risultati significativi, ma non l'effetto della Condizione sperimentale ( $F(1,58)=0,516$ ,  $p>0,05$ ). I test dei

contrasti entro i soggetti hanno messo in evidenza una differenza significativa tra i punteggi attesi allo Span Semplice e allo Span Antisaccade ( $F(2,58): 500,71, p<0,001$ ), e tra Span Semplice e Span Posner ( $F(2,58)= 100,46, p<0,001$ ); per quanto riguarda l'interazione la differenza tra Span Semplice e Span Antisaccade è significativa ( $F(2,58): 16,51 p<0,001$ ), ma contrariamente rispetto ai dati raccolti lo è anche la differenza tra Span Semplice e Span Posner ( $F(2,58): 8,06, p<0,05$ ). Appare, quindi, che sia lo Span Antisaccade che lo Span Posner abbiano prodotto punteggi più bassi rispetto allo Span Simple, ma che l'effetto della Condizione non abbia generato differenze significative. Dai test post-hoc è emerso infatti che la differenza tra Condizione 1 e 2 non è significativa per quanto riguarda lo Span Simple ( $t(58)=0,26, n.s.$ ) lo Span Posner ( $t(58)=0,60, n.s.$ ) e, contrariamente a quanto rilevato nel campione, neanche per quanto riguarda lo Span Antisaccade ( $t(58)=0,59, n.s.$ ). Nella Condizione 1 e 2 le differenze tra le misure sono tutte significative (Condizione 1: Span Simple – Span Posner:  $t(29)= 5,76, p <0,001$ ; Span Simple – Span Antisaccade:  $t(29)= 13,96. p <0,001$ ; Span Posner – Span Antisaccade  $t(29)=22,27, p<0,001$ ; Condizione 2: Span Simple – Span Posner:  $t(29)= 8,23, p <0,001$ ; Span Simple – Span Antisaccade:  $t(29)=17,52 p<0,001$ ; Span Posner – Span Antisaccade  $t(29)=29,85, p<0,001$ ), mentre nella Condizione 1 nei dati osservati sono state rilevate differenze significative solo tra Span Simple e Span Antisaccade.



*Figura 5.4. In questo grafico sono riportati i valori attesi del TBRs e i valori osservati nelle due condizioni sperimentali*

In maniera analoga, sono stati analizzati i punteggi del TBRs, ma, siccome tale modello non produce predizioni per lo Span Semplice, è stata eseguita un'ANOVA mista 2x2 dei punteggi attesi in cui sono state inseriti le due diverse misure di span complessi come fattore entro i soggetti e le condizioni sperimentali come fattore tra soggetti. La tipologia di Span ( $F(1,58)= 1418,84, p<0,001$ ), le condizioni

sperimentali ( $F(1,58)= 1714,29$ ,  $p<0,001$ ) e l'interazione ( $F(1,58)= 139,75$ ,  $p<0,001$ ) hanno avuto effetti significativi. Dai test post hoc è emerso che le differenze tra i punteggi nella condizione 1 e 2 sono significativi sia per quanto riguarda lo Span Antisaccade ( $t(58)= 9,356$ ,  $p<0,001$ ) che, diversamente da quanto osservato nel campione, per lo Span Posner ( $t(58)= 4,392$ ,  $p<0,001$ ). All'interno delle 2 condizioni entrambe le misure differiscono significativamente tra loro (Condizione 1:  $t(29)= 31,05$ ,  $p<0,001$ ; Condizione 2:  $t(29)= 27,12$ ,  $p<0,001$ ), mentre nei punteggi osservati tale differenza non era presente nella Condizione 1.

Considerando l'ipotesi per cui le predizioni del TBRS non dovrebbero essere generate nella Condizione 1 dello Span Posner per le ragioni indicate sopra, è stata confrontata la media attesa dello Span Posner nella Condizione 2 con la media osservata nel campione alla Condizione 1: diversamente da quanto è emerso dal campione, la differenza tra queste due misure risulta significativa ( $t(29)=7,74$ ,  $p<0,001$ ). Inoltre, nella Condizione 1 risulterebbe significativa la differenza tra i punteggi osservati dello Span Posner e Span Antisaccade generato dal modello ( $t(29)=7,76$ ,  $p<0,001$ ), contrariamente da quanto osservato nel campione.

## Conclusioni

Il modello TBRS non è riuscito a predire efficacemente i punteggi in nessuna prova di span, e le correlazioni con i dati osservati sono risultate significative solo nella Condizione 1; inoltre, l'analisi dei pattern delle differenze tra i punteggi di span attesi dai modelli ha evidenziato che il TBRS ha predetto differenze significative in tutte le misure di Span della Condizione 1, ma nei dati raccolti si sono osservate differenze significative solo tra Span Semplice e Span Antisaccade; inoltre per quanto riguarda le differenze tra Condizione 1 e 2, il TBRS ha predetto una differenza significativa nello Span Posner che non si è osservata. Se si assumesse che il TBRS non possa generare predizioni per la Condizione 1 dello Span Posner risulterebbe comunque significativa sia la differenza tra punteggi osservati nella Condizione 1 e punteggi attesi dal modello nella Condizione 2 dello Span Posner che, nella Condizione 1, la differenza punteggi osservati nello Span Posner e punteggi attesi nello Span Antisaccade. Appare, quindi, che tale ipotesi non migliori le capacità predittive del modello, poiché permangono differenze sostanziali tra punteggi osservati e attesi.

Per quanto riguarda il TCO-CS, le differenze tra i punteggi medi osservati nel campione e quelli attesi secondo il modello non sono risultate significative, ma al pari del TBRS ha generato, all'interno di ciascuna condizione, differenze significative tra i punteggi di tutte le misure di span e non ha predetto la differenza significativa tra Condizione 1 e Condizione 2 nello span Antisaccade. Dallo studio delle correlazioni tra i punteggi ottenuti, sembra che il modello predica con maggior

precisione le differenze individuali in compiti in cui il compito di processing è assente o poco demanding (Simple Span e Span Posner nella Condizione 1).

Sembra che mentre il TBRS sovrastimi in maniera significativa l'effetto interferente del compito secondario sia nella Condizione 1 e che nella Condizione 2, il TCO-CS tenda a sovrastimare l'effetto dei compiti secondari nella Condizione 1 e sottostimare l'effetto dell'Antisaccade nella condizione con due item interferenti. Tuttavia, tali discrepanze, sono di natura tendenziale poiché le differenze tra i punteggi osservati e quelli predetti dal TCO-CS non è significativa in nessuna prova o condizione. Alla luce di quest'ultimo dato è possibile affermare che, nelle condizioni sperimentali utilizzate nella presente ricerca, il TCO-CS è risultato un valido strumento predittivo per quanto riguarda le medie dei punteggi nelle prove di memoria e si è rilevato più preciso del modello di Barrouillet; nonostante ciò presenta limitazioni e debolezze che verranno affrontate nel prossimo capitolo.

### Discussione

Il modello TBRS non è riuscito a predire efficacemente i punteggi in nessuna prova di span, e le correlazioni con i dati osservati sono risultate significative solo nella Condizione 1; inoltre, l'analisi dei pattern delle differenze tra i punteggi di span attesi dai modelli ha evidenziato che il TBRS ha predetto differenze significative in tutte le misure di Span della Condizione 1, ma nei dati raccolti si sono osservate differenze significative solo tra Span Semplice e Span Antisaccade; inoltre per quanto riguarda le differenze tra Condizione 1 e 2, il TBRS ha predetto una differenza significativa nello Span Posner che non si è osservata. Se si assumesse che il TBRS non possa generare predizioni per la Condizione 1 dello Span Posner risulterebbe comunque significativa sia la differenza tra punteggi osservati nella Condizione 1 e punteggi attesi dal modello nella Condizione 2 dello Span Posner che, nella Condizione 1, la differenza punteggi osservati nello Span Posner e punteggi attesi nello Span Antisaccade. Appare, quindi, che tale ipotesi non migliori le capacità predittive del modello, poiché permangono differenze sostanziali tra punteggi osservati e attesi.

Per quanto riguarda il TCO-CS, le differenze tra i punteggi medi osservati nel campione e quelli attesi dal modello non sono risultate significative, ma al pari del TBRS ha generato, all'interno di ciascuna condizione, differenze significative tra i punteggi di tutte le misure di span e ha non ha predetto la differenza significativa tra Condizione 1 e Condizione 2 nello span Antisaccade. Dallo studio delle correlazioni tra i punteggi ottenuti, sembra che il modello predica con maggior precisione le differenze individuali in compiti in cui il compito di processing è assente o poco demanding (Simple Span e Span Posner nella Condizione 1).



Sembra che mentre il TBRS sovrastimi in maniera significativa l'effetto interferente del compito secondario sia nella Condizione 1 e che nella Condizione 2, il TCO-CS tenda a sovrastimare l'effetto dei compiti secondari nella Condizione 1 e sottostimare l'effetto dell'Antisaccade nella condizione con due item interferenti. Tuttavia, tali discrepanze, sono di natura tendenziale poiché le differenze tra i punteggi osservati e quelli predetti dal TCO-CS non è significativa in nessuna prova o condizione. Alla luce di quest'ultimo dato è possibile affermare che, nelle condizioni sperimentali utilizzate nella presente ricerca, il TCO-CS è risultato un valido strumento predittivo per quanto riguarda le medie dei punteggi nelle prove di memoria e si è rilevato più preciso del modello di Barrouillet; nonostante ciò presenta limitazioni e debolezze che verranno affrontate nel prossimo capitolo.

Schemi attivati dall'M Capacity						Output	Attivazione degli schemi					Probabilità
Step	e	k					$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\varphi W3$	$\varphi W4$	$\varphi W5$	
1	$\epsilon$ Read	$\psi$ Cod	W1			$\varphi W1$	1					
2	$\epsilon$ Read	$\varphi W1$	$\psi$ Cod	Cue		$\epsilon$ Posner	1					
3	$\epsilon$ Posner	$\varphi W1$	$\psi$ Cod	Dot		$\epsilon$ Response	1					
4	$\epsilon$ Read	$\varphi W1$	$\psi$ Cod	W2		$\varphi W2$	1	1				
5	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1			
6	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1			
7	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	W3	$\varphi W3$	1	1	1		
8	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a		
9	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>2</sup>		
10	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	W4	$\varphi W4$	1	1	a <sup>3</sup>		
11	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a <sup>5</sup>	a <sup>2</sup>	
12	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>7</sup>	a <sup>4</sup>	
13	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	W5	$\varphi W5$	1	1	a <sup>10</sup>	a <sup>6</sup>	
14	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a <sup>13</sup>	a <sup>9</sup>	a <sup>3</sup>
15	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>16</sup>	a <sup>12</sup>	a <sup>6</sup>
16	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	End	$\epsilon$ Rec	1	1	a <sup>19</sup>	a <sup>15</sup>	a <sup>9</sup>
17	$\epsilon$ Rec	$\varphi W1$	$\psi$ Ord	$\varphi W2$		$U W1$		1	a <sup>22</sup>	a <sup>18</sup>	a <sup>12</sup>	c(1-2r)
18	$\epsilon$ Rec	$\varphi W2$	$\psi$ Ord			$U W2$			a <sup>25</sup>	a <sup>21</sup>	a <sup>15</sup>	c(1-2r)
19	$\epsilon$ Rec	$\varphi W3 ?$	$\psi$ Ord			$U_{W3}?$				a <sup>23</sup>	a <sup>17</sup>	a <sup>25</sup> c(1-2r)
20	$\epsilon$ Rec	$\varphi W4 ?$	$\psi$ Ord			$U_{W4}?$					a <sup>18</sup>	a <sup>23</sup> c(1-2r)
21	$\epsilon$ Rec	$\varphi W4 ?$	$\psi$ Ord			$U_{W5}?$						a <sup>18</sup> c

Tabella 5.1. Task analysis (a destra) e calcolo delle probabilità di richiamo corretto (a sinistra) di un soggetto con  $M = e + 5$  nella prova di Span Posner Condizione 1 con una lunghezza di lista pari a 5.

Step	Schemi attivati dall'M Capacity						Output	Attivazione degli schemi					Probabilità
	e	k						$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\varphi W3$	$\varphi W4$	$\varphi W5$	
1	$\epsilon$ Read	$\psi$ Cod	W1				$\varphi W1$	1					
2	$\epsilon$ Read	$\varphi W1$	$\psi$ Cod	Cue			$\epsilon$ Posner	1					
3	$\epsilon$ Posner	$\varphi W1$	$\psi$ Cod	Dot			$\epsilon$ Response	1					
4	$\epsilon$ Read	$\varphi W1$	$\psi$ Cod	Cue			$\epsilon$ Posner	1					
5	$\epsilon$ Posner	$\varphi W1$	$\psi$ Cod	Dot			$\epsilon$ Response	1					
6	$\epsilon$ Read	$\varphi W1$	$\psi$ Cod	W2			$\varphi W2$	1	1				
7	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1				
8	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1				
9	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1				
10	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1				
11	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	W3	$\varphi W3$	1	1				
12	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a			
13	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>2</sup>			
14	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a <sup>3</sup>			
15	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>4</sup>			
16	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	W4	$\varphi W4$	1	1	a <sup>5</sup>			
17	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a <sup>7</sup>	a <sup>2</sup>		
18	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>9</sup>	a <sup>4</sup>		
19	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a <sup>11</sup>	a <sup>6</sup>		
20	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>13</sup>	a <sup>8</sup>		
21	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	W5	$\varphi W5$	1	1	a <sup>15</sup>	a <sup>10</sup>		
22	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a <sup>18</sup>	a <sup>13</sup>	a <sup>3</sup>	
23	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>21</sup>	a <sup>16</sup>	a <sup>6</sup>	
24	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Cue	$\epsilon$ Posner	1	1	a <sup>24</sup>	a <sup>19</sup>	a <sup>9</sup>	
25	$\epsilon$ Posner	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	Dot	$\epsilon$ Response	1	1	a <sup>27</sup>	a <sup>22</sup>	a <sup>12</sup>	
26	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi W1$	$\varphi W2$	$\psi$ Cod	End	$\epsilon$ Rec	1	1	a <sup>30</sup>	a <sup>25</sup>	a <sup>15</sup>	
27	$\epsilon$ Rec	$\varphi W1$	$\psi$ Ord	$\varphi W2$			$U W1$		1	a <sup>33</sup>	a <sup>28</sup>	a <sup>18</sup>	c(1-2r)
28	$\epsilon$ Rec	$\varphi W2$	$\psi$ Ord				$U W2$			a <sup>36</sup>	a <sup>31</sup>	a <sup>21</sup>	c(1-2r)
29	$\epsilon$ Rec	$\varphi W3 ?$	$\psi$ Ord				$U w3?$				a <sup>33</sup>	a <sup>23</sup>	a <sup>36</sup> c(1-2r)
30	$\epsilon$ Rec	$\varphi W4 ?$	$\psi$ Ord				$U w4?$					a <sup>24</sup>	a <sup>33</sup> c(1-2r)
31	$\epsilon$ Rec	$\varphi W4 ?$	$\psi$ Ord				$U w5?$						a <sup>24</sup> c

Tabella 5.2. Task analysis (a destra) e calcolo delle probabilità di richiamo corretto (a sinistra) di un soggetto con  $M = e + 5$  nella prova di Span Posner Condizione 1 con una lunghezza di lista pari a 5.

Step	e	Schemi attivati dall'M capacity					Outout	Attivazione degli schemi					Probabilità
		$\psi$	$\varphi$	$\psi$	$\varphi$	$\psi$		$\varphi$ W1	$\varphi$ W2	$\varphi$ W3	$\varphi$ W4	$\varphi$ W5	
1	$\epsilon$ Read	$\psi$ Cod	W1				$\varphi$ W1	1					
2	$\epsilon$ Read	$\varphi$ W1	$\varphi$ W1	$\psi$ Cod	cue		$\epsilon$ Anti	1					
3	$\epsilon$ Anti	$\varphi$ W1	$\varphi$ W1	$\psi$ Cod	arr		$\varphi$ arrow	1					
4	$\epsilon$ Anti	$\varphi$ W1	$\varphi$ W1	$\psi$ invert	$\varphi$ arrow	$\psi$ fastsel	$\epsilon$ Response	1					
5	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	W2	$\varphi$ W2	1					
6	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ W2	$\psi$ Cod	cue	$\epsilon$ Anti	1					
7	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ W2	$\psi$ Cod	arr	$\varphi$ arrow	1					
8	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\psi$ invert	$\varphi$ arrow	$\psi$ fastsel	$\epsilon$ Response	1	a				
9	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	W3	$\varphi$ W3	1	$a^2$				
10	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ W3	$\psi$ Cod	cue	$\epsilon$ Anti	1	$a^3$				
11	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ W3	$\psi$ Cod	arr	$\varphi$ arrow	1	$a^4$				
12	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\psi$ invert	$\varphi$ arrow	$\psi$ fastsel	$\epsilon$ Response	1	$a^6$	$a^2$			
13	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	W4	$\varphi$ W4	1	$a^8$	$a^4$			
14	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ W4	$\psi$ Cod	cue	$\epsilon$ Anti	1	$a^{10}$	$a^6$			
15	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ W4	$\psi$ Cod	arr	$\varphi$ arrow	1	$a^{12}$	$a^8$			
16	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\psi$ invert	$\varphi$ arrow	$\psi$ fastsel	$\epsilon$ Response	1	$a^{15}$	$a^{11}$	$a^3$		
17	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	W5	$\varphi$ W5	1	$a^{18}$	$a^{14}$	$a^6$		
18	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	cue	$\epsilon$ Anti	1	$a^{21}$	$a^{17}$	$a^9$		
19	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ W5	$\psi$ Cod	arr	$\varphi$ arrow	1	$a^{24}$	$a^{20}$	$a^{12}$		
20	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\psi$ invert	$\varphi$ arrow	$\psi$ fastsel	$\epsilon$ Response	1	$a^{28}$	$a^{24}$	$a^{16}$	$a^4$	
21	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	end	$\epsilon$ Rec	1	$a^{32}$	$a^{28}$	$a^{20}$	$a^8$	
22	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W1	$\psi$ Ord				$U_{W1}$		$a^{36}$	$a^{32}$	$a^{24}$	$a^{12}$	$c(1-2r)$
23	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W2 ?	$\psi$ Ord				$U_{W2?}$			$a^{35}$	$a^{27}$	$a^{15}$	$a^{36}c(1-2r)$
24	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W3 ?	$\psi$ Ord				$U_{W3?}$				$a^{29}$	$a^{17}$	$a^{35}c(1-2r)$
25	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W4 ?	$\psi$ Ord				$U_{W4?}$					$a^{19}$	$a^{29}c(1-2r)$
26	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W5 ?	$\psi$ Ord				$U_{W5?}$						$a^{19}c$

Tabella 5.3. Task analysis (a destra) e calcolo delle probabilità di richiamo corretto (a sinistra) di un soggetto con  $M = +5$  nella prova di Span Antisaccade Condizione 1 con una lunghezza di lista pari a 5.

Step	e	Schemi attivati dall'M capacity					Outout	Attivazione degli schemi					Probabilità	
		k						W1	W2	W3	W4	W5		
1	εRead	ψCod	W1				φW1	1						
2	εRead	φW1	φW1		ψCod	cue	εAnti	1						
3	εAnti	φW1	φW1		ψCod	arr	φarrow	1						
4	εAnti	φW1	φW1	ψinvert	φarrow	ψfastsel	εResponse	1						
5	εRead	φW1	φW1		ψCod	cue	εAnti	1						
6	εAnti	φW1	φW1		ψCod	arr	φarrow	1						
7	εAnti	φW1	φW1	ψinvert	φarrow	ψfastsel	εResponse	1						
8	εRead	ψOrd	φW1		ψCod	W2	φW2	1						
9	εRead	ψOrd	φW1	φW2	ψCod	cue	εAnti	1						
10	εAnti	ψOrd	φW1	φW2	ψCod	arr	φarrow	1						
11	εAnti	ψOrd	φW1	ψinvert	φarrow	ψfastsel	εResponse	1	a					
12	εRead	ψOrd	φW1	φW2	ψCod	cue	εAnti	1	a	2				
13	εAnti	ψOrd	φW1	φW2	ψCod	arr	φarrow	1	a	3				
14	εAnti	ψOrd	φW1				εResponse	1	a	4				
15	εRead	ψOrd	φW1		ψCod	W3	φW3	1	a	5				
16	εRead	ψOrd	φW1	φW3	ψCod	cue	εAnti	1	a	6				
17	εAnti	ψOrd	φW1	φW3	ψCod	arr	φarrow	1	a	7				
18	εAnti	ψOrd	φW1	ψinvert	φarrow	ψfastsel	εResponse	1	a	9	a	2		
19	εRead	ψOrd	φW1		ψCod	cue	εAnti	1	a	11	a	4		
20	εAnti	ψOrd	φW1		ψCod	arr	φarrow	1	a	13	a	6		
21	εAnti	ψOrd	φW1	ψinvert	φarrow	ψfastsel	εResponse	1	a	15	a	8		
22	εRead	ψOrd	φW1		ψCod	W4	φW4	1	a	17	a	10		
23	εRead	ψOrd	φW1	φW4	ψCod	cue	εAnti	1	a	19	a	12		
24	εAnti	ψOrd	φW1	φW4	ψCod	arr	φarrow	1	a	21	a	14		
25	εAnti	ψOrd	φW1	ψinvert	φarrow	ψfastsel	εResponse	1	a	24	a	17	a	3
26	εRead	ψOrd	φW1		ψCod	cue	εAnti	1	a	27	20	6		
27	εAnti	ψOrd	φW1		ψCod	arr	φarrow	1	a	30	23	9		
28	εAnti	ψOrd	φW1	ψinvert	φarrow	ψfastsel	εResponse	1	a	33	26	12		
29	εRead	ψOrd	φW1		ψCod	W5	φW5	1	a	36	a	29	a	15
30	εRead	ψOrd	φW1	φW5	ψCod	cue	εAnti	1	a	39	a	32	a	18

31	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ W5	$\psi$ Cod	arr	$\varphi$ arrow	1	a	<sup>42</sup>	a	<sup>35</sup>	a	<sup>21</sup>			
32	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ arrow	$\psi$ invert	$\psi$ fastsel	$\epsilon$ Response	1	a	<sup>46</sup>	a	<sup>39</sup>	a	<sup>25</sup>	a	<sup>4</sup>	
33	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	cue	$\epsilon$ Anti	1	a	<sup>50</sup>	a	<sup>43</sup>	a	<sup>29</sup>	a	<sup>8</sup>	
34	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	arr	$\varphi$ arrow	1	a	<sup>54</sup>	a	<sup>47</sup>	a	<sup>33</sup>	a	<sup>12</sup>	
35	$\epsilon$ Anti	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1	$\varphi$ arrow	$\psi$ invert	$\psi$ fastsel	$\epsilon$ Response	1	a	<sup>58</sup>	a	<sup>51</sup>	a	<sup>37</sup>	a	<sup>16</sup>	
50	$\epsilon$ Read	$\psi$ Ord	$\varphi$ W1		$\psi$ Cod	end	end	1	a	<sup>62</sup>	a	<sup>55</sup>	a	<sup>41</sup>	a	<sup>20</sup>	
51	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W1	$\psi$ Ord				$U_{W1}$		a	<sup>66</sup>	a	<sup>59</sup>	a	<sup>45</sup>	a	<sup>24</sup>	$c(1-2r)$
52	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W2 ?	$\psi$ Ord				$U_{W2}?$			a	<sup>62</sup>	a	<sup>48</sup>	a	<sup>27</sup>		$a^{66}c(1-2r)$
53	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W3 ?	$\psi$ Ord				$U_{W3}?$				a	<sup>50</sup>	a	<sup>29</sup>			$a^{62}c(1-2r)$
54	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W4 ?	$\psi$ Ord				$U_{W4}?$					a	<sup>30</sup>				$a^{50}c(1-2r)$
55	$\epsilon$ Rec	$\varphi$ W5 ?	$\psi$ Ord				$U_{W5}?$										$a^{30}c$

Tabella 5.4. Task analysis (a destra) e calcolo delle probabilità di richiamo corretto (a sinistra) di un soggetto con  $M = e + 5$  nella prova di Span Antisaccade Condizione 2 con una lunghezza di lista pari a 5.

## 5. CONCLUSIONI

Nell'Esperimento 1 sono stati rilevati alcuni dati difficilmente interpretabili dal modello TBRS: non è stata rilevata nessuna relazione lineare negativa tra CL e punteggio agli Span Complessi, inoltre nella Condizione 1 è stata rilevata una correlazione positiva tra lo Span Posner il CL del medesimo compito. Sebbene quest'ultimo dato possa essere, in parte, spiegato attraverso l'assunzione ad hoc riportata nei capitoli precedenti, l'assenza di relazioni lineari negative tra CL e compiti di Span complessi, può essere considerato un dato che mette in discussione il modello TBRS, poiché in tutte queste misure (ad esclusione dello Span Posner nella Condizione 1) si è verificato un calo significativo della performance rispetto alla prova di Simple Span.

Per quanto riguarda la TCO, sono state riscontrate relazioni tra M Capacity e compiti di storage come il Simple Span o con una bassa influenza da parte del compito di processing come lo Span Posner nella Condizione 1; correlazioni significative sono state registrate anche tra M Capacity e indici della performance di processing di entrambi i compiti, ma non sono state riscontrate relazioni significative con Span Antisaccade nella Condizione 1 e 2 e lo Span Posner nella Condizione 2.

Un dato pertinente riguarda l'analisi dei compiti di processing della condizione 2; mentre nel compito di processing dello Span Posner, accuratezza e CL sono legati da una relazione di segno positivo, nel compito di processing dello span Antisaccade la relazione tra CL e accuratezza ha segno negativo. In altre parole, mentre nel compito di processing del Posner tempi di risposta più alti sono legati a maggior accuratezza, per l'Antisaccade si assiste al contrario: tempi di risposta più bassi sono legati a maggior accuratezza. Come indicato nel Capitolo 2, ciò potrebbe far supporre che tale tendenza sia legata alle capacità di controllo inibitorio: nello span Antisaccade, i soggetti che riescono a controllare la saccade verso il cue distraente e l'effetto di congruenza stimolo-risposta della freccia target riescono sia ad essere sia più veloci che più accurati. Il coinvolgimento delle abilità di controllo inibitorio potrebbe spiegare in parte la mancanza di correlazione tra M Capacity e Span Antisaccade.

Nell'Esperimento 2 il TBRS è messo in discussione dalle seguenti osservazioni: tra i due gruppi di età vi sono differenze significative nei CL significative che non hanno prodotto, però, differenze in termini di punteggi di Span; il gruppo 2 ha registrato CL più bassi in entrambi gli span complessi, ma

i punteggi di span non sono significativamente differenti da quelli del gruppo 1. Inoltre, il compito Antisaccade ha fatto registrare CL significativamente più alti rispetto allo Span Posner in entrambi i gruppi, ma tali differenze non hanno generato punteggi di span inferiori nello Span Antisaccade rispetto allo Span Posner in nessuno dei due gruppi sperimentali.

Per quanto riguarda la TCO, non si sono registrate le differenze attese tra i punteggi di M Capacity dei due gruppi di età, per altro, tali differenze non si sono manifestate neanche a livello di punteggi di span. In questo esperimento l'M Capacity correla significativamente con tutte le misure di span. Tali correlazioni perdono significatività parzializzando l'età; tale operazione, tuttavia, risulta particolarmente penalizzante per il potere predittivo dell'M Capacity poiché, come spiegato nel precedente capitolo, elimina varianza spiegata da tali misure.

Per quanto riguarda la simulazione dei modelli, tutte le predizioni del TBRS hanno registrato differenze significative e con i punteggi ottenuti dal campione. In particolare, il TBRS sembra sovrastimare l'effetto del compito di processing sul compito di memorizzazione; infatti i punteggi medi generati dal modello negli span complessi erano significativamente inferiori rispetto a quelli osservati.

Il TCO-CS ha fatto emergere correlazioni significative tra punteggi attesi e osservati nello Span Posner in Condizione 1 e nel Simple Span. Dall'analisi dei pattern delle differenze tra i punteggi delle prove di span sono emerse alcune piccole discrepanze dal pattern delle differenze tra i punteggi osservati., nonostante ciò in nessuna delle prove di span si sono osservate differenze significative tra predizioni del modello e dati del campione.

Facendo un paragone tra il modello TBRS e il modello TCO-CS è possibile notare che entrambi i modelli, per generare le proprie predizioni, partono da una variabile che nel TCO-CS è rappresentata dall'M Capacity misurata con appositi reattivi e nel TBRS consiste nel punteggio a uno span senza compito di processing, il cui risultato verrà rappresentato dal parametro  $k$  nell'equazione:  $\text{Span} = k(1-CL)$ . Il TBRS, inoltre, assume che indipendentemente dal materiale usato o dalla natura del compito, il rapporto tra tempi di reazione e tempo a disposizione per il compito di processing può generare una predizione del decremento causato dal compito secondario, in altre parole maggiore è il tempo (rappresentato dai tempi di reazione) in cui le risorse centrali del soggetto sono impegnate nel compito di processing, maggiore sarà il decadimento subito dalle tracce mnestiche, indipendentemente dal materiale con cui è costruito il compito secondario o dai processi o rappresentazioni che è necessario elaborare per la risoluzione di quest'ultimo. Tale importante



presupposto è stato messo in discussione dai punti descritti sopra, di seguito riportati in maniera più sintetica:

- nell'Esperimento 1 non c'è correlazione lineare negativa tra prove di Span complesso e i CL dei compiti di processing;
- Nell'esperimento 2 diversi livelli di CL derivanti da differenze evolutive e differenze del compito non generano differenze tra i punteggi di span. In particolare, in questo caso è da sottolineare che compiti di diversa natura come lo Span Posner e lo Span Antisaccade che hanno CL significativamente diversi tra loro, non generano punteggi di span con differenze significative.
- La simulazione del TBRs dell'Esperimento 1 ha generato punteggi più bassi rispetto a quelli osservati.

Il TCO-CS, attraverso l'analisi del compito individua il numero di processi e rappresentazioni la cui attivazione da parte dell'operatore M è necessaria per risolvere il compito di processing; le unità utilizzate per l'attivazione di tali processi e rappresentazioni non possono essere impiegate per l'attivazione dei memoranda, che, nel caso in cui il compito ecceda l'M Capacity del soggetto, perdono attivazione. Per quanto riguarda la TCO negli Esperimenti 1 e emergono solo pochi elementi chiaramente a favore riguardo l'ipotesi di un coinvolgimento dell'M Capacity nella performance agli span complessi. D'altro canto, non sono state raccolte forti evidenze a sfavore; l'elemento forse più problematico nell'Esperimento 1 è la mancanza di correlazione tra M Capacity e Span Complessi (situazione condivisa con il TBRs), mentre nell'esperimento 2 tale correlazione emerge ma non è mantenuta dopo la parzializzazione dell'età. La simulazione del modello, in cui entrano in gioco l'analisi del compito e la quantificazione in termini di risorse attentive del compito di processing ha raccolto risultati promettenti, soprattutto per quanto riguarda la predizione dei punteggi medi del campione.

Dai risultati raccolti, si può concludere che interpretare il compito di processing attraverso un'analisi di unità di risorse attentive sia un metodo predittivo più efficace del calcolo del CL, per lo meno nelle misure di span utilizzate in questa ricerca.

Sussistono, comunque, delle evidenti limitazioni del TCO-CS, rispetto al TBRs. Attualmente, infatti, il modello basato sulla teoria di Pascual-Leone non fornisce strumenti per spiegare il pace effect, fenomeno per il quale, mantenendo costante numero di item del compito di processing e diminuendo il tempo inter-lettera, si assiste ad un decremento della performance mnestica. Il

tempo non è una variabile presa in considerazione dal TCO-CS, e il pace effect quindi risulta essere oltre il potere predittivo del modello.

Le limitazioni del TCO-CS riguardano anche le predizioni di effetti interferenti legati al materiale utilizzato. Si ricordi a tal proposito che il SOB-CS, ossia il modello basato sull'interferenza di Oberauer e colleghi (2012), predice sia effetti di interferenza legati al materiale che effetti di CL, utilizzando però categorie interpretative completamente diverse dal TBRS. Secondo il modello SOB-CS gli item del compito di processing vengono automaticamente codificati in memoria di lavoro creando interferenza con i memoranda; dopo la produzione della risposta all'item del compito di processing e prima della presentazione della lettera successiva (intervallo di tempo definito free time) interviene un meccanismo di soppressione dell'interferenza che diminuisce l'effetto interferente degli item del compito di processing sui memoranda. I tempi di risposta e il tempo interlettera hanno quindi un ruolo simile al CL: a parità di tempo interlettera maggiori sono i tempi di risposta, minore è il free time. Tuttavia, il concetto CL è da interpretare in maniera diversa rispetto al TBRS. Il modello di Oberauer è l'unico a riuscire a predire con estrema precisione fenomeni di interferenza del materiale mnestico (Oberauer, 2009); infatti, secondo questa prospettiva, il CL dipende in maniera decisiva dalla natura del materiale utilizzato per i compiti di storage e processing. Per esempio, l'utilizzo di cue ambigui può provocare interferenze confusive; materiale con elementi differenti può accentuare interferenze da sovrapposizione, al contrario, utilizzando materiale con elementi simili si può assistere a fenomeni di feature overwriting. Il SOB-CS si è rivelato capace di predire con precisione il grado di interferenza del materiale utilizzato e l'efficacia del meccanismo di soppressione dell'interferenza in base al free time a disposizione (Lewandowsky & Oberauer, 2009; Oberauer, Lewandowsky, Farrell, Jarrold & Greaves, 2012; Oberauer, Lewandowsky, Farrell, Jarrold, & Greaves, 2012).

Il TCO-CS, apparentemente, non fornisce molti strumenti per interpretare l'effetto del materiale a disposizione: le rappresentazioni attivate utilizzano unità discrete di risorse attentive dominio generali, indipendentemente dal dominio visuo-spaziale o verbale del materiale. È però possibile ipotizzare che il maggior livello di interferenza possa essere interpretabile attraverso i valori del parametro  $\alpha$ . Si ricordi a tal proposito che tale parametro rappresenta la riduzione dell'attivazione degli schemi fuori dall'M Capacity. Si può supporre che l'effetto di interferenza provocato dal materiale possa aumentare il grado di disattivazione degli schemi non attivati dall'Operatore M, e che ciò possa essere interpretabile attraverso stime di  $\alpha$  più alte rispetto a quelle usate nel presente studio; gli span complessi utilizzati, infatti, impiegano un compito di natura attentiva che produce

poca interferenza sul materiale di tipo verbale da memorizzare. Risulterebbe necessario utilizzare un paradigma sperimentale che impiega materiale verbale sia in compiti di storage che di processing per verificare se, apportando tali modifiche al parametro  $\alpha$ , il TCO-CS riesca a predire in maniera efficace le performance dei soggetti.

Una volta chiariti limitazione e potere predittivo del modello, sarebbe possibile utilizzare il TCO-CS come primo strumento per trovare una sintesi tra modelli basati su ipotesi di resource-sharing e modelli basati sull'interferenza come il SOB-CS; tale obiettivo, riportato nel Capitolo 1, è stato indicato dagli stessi Oberauer e colleghi (2016) che sottolineano che queste due ipotesi sono complementari. Per esempio, Oberauer e colleghi (2016) ipotizzano un modello in cui risorse centrali dominio generali attivino un numero limitato di rappresentazioni che non subiscono interferenza, le rappresentazioni che eccedono tale capacità, invece, subiscono gli effetti di interferenza predetti dal SOB-CS. La metodologia attualmente più promettente, a tal proposito, è la simulazione computerizzata su reti neurali, di cui il SOB-CS è un esempio. Forse solo attraverso tali strumenti potrebbe essere possibile progettare un modello in cui limitazioni derivanti da un sistema a capacità limitate interagiscono con effetti di interferenza del materiale.

# Bibliografia

- Anderson, J. R. (1996). ACT: A simple theory of complex cognition. *American Psychologist*, 51(4), 355.
- Baddeley, A. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 5-28. Logie, 1995
- Baddeley, A. D., Thomson, N., & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 14(6), 575-589. Awh, Jonides, & Reuter-Lorenz, 1998
- Barrouillet, P., Bernardin, S., Portrat, S., Vergauwe, E., & Camos, V. (2007). Time and cognitive load in working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(3), 570. Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004
- Barrouillet, P., Gavens, N., Vergauwe, E., Gaillard, V., & Camos, V. (2009). Working memory span development: a time-based resource-sharing model account. *Developmental psychology*, 45(2), 477. Vergauwe, Dewaele, Langerock & Barrouillet 2012
- Barrouillet, P., Portrat, S., & Camos, V. (2011). On the law relating processing to storage in working memory. *Psychological Review*, 118(2), 175. Lewandowsky & Oberauer, 2009
- Camos, V., & Portrat, S. (2015). The impact of cognitive load on delayed recall. *Psychonomic bulletin & review*, 22(4), 1029-1034.
- Case, R. (1985). *Intellectual development ' : From birth to adulthood (Developmental Psychology Series)*. New York: Academic Press. Morra, 2000
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of experimental child psychology*, 33(3), 386-404. Daneman & Carpenter, 1980
- Case, R., Kurland, D. M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of experimental child psychology*, 33(3), 386-404.
- Cocchini, G., Logie, R. H., Della Sala, S., MacPherson, S. E., & Baddeley, A. D. (2002). Concurrent performance of two memory tasks: Evidence for domain-specific working memory systems. *Memory & Cognition*, 30(7), 1086-1095.
- Conway, A. R., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in cognitive sciences*, 7(12), 547-552. Daneman & Merikle, 1996
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why?. *Current directions in psychological science*, 19(1), 51-57. J. Brown, 1958
- Cowan, N., Morey, C. C., AuBuchon, A. M., Zwillling, C. E., & Gilchrist, A. L. (2010). Seven-year-olds allocate attention like adults unless working memory is overloaded. *Developmental science*, 13(1), 120-133.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19(4), 450-466. Service, 1998

- De Ribaupierre, A., & Lecerf, T. (2006). Relationships between working memory and intelligence from a developmental perspective: Convergent evidence from a neo-Piagetian and a psychometric approach. *European Journal of Cognitive Psychology*, 18(1), 109-137.
- Delvenne, J. F., & Bruyer, R. (2004). Does visual short-term memory store bound features?. *Visual cognition*, 11(1), 1-27.
- Ferguson, A. N., & Bowey, J. A. (2005). Global processing speed as a mediator of developmental changes in children's auditory memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91(2), 89-112.
- Gaillard, V., Barrouillet, P., Jarrold, C., & Camos, V. (2011). Developmental differences in working memory: Where do they come from?. *Journal of experimental child psychology*, 110(3), 469-479.
- Gobbo, C., & Morra, S. (1997). *Lo sviluppo mentale: prospettive neopiagetiane*. Il mulino.
- Hallett, P. E. (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision research*, 18(10), 1279-1296..
- Howard, S. J., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2013). Measurement of mental attention: Assessing a cognitive component underlying performance on standardized intelligence tests. Luck & Vogel, 1997
- Humphreys, B. D., Lin, S. L., Kobayashi, A., Hudson, T. E., Nowlin, B. T., Bonventre, J. V., ... & Duffield, J. S. (2010). Fate tracing reveals the pericyte and not epithelial origin of myofibroblasts in kidney fibrosis. *The American journal of pathology*, 176(1), 85-97. Lewandowsky et al., 2010
- Inhelder, B. (1967). *The child's conception of space*. London: Routledge & K. Paul.
- Jarrold, C., Tam, H., Baddeley, A. D., & Harvey, C. E. (2011). How does processing affect storage in working memory tasks? Evidence for both domain-general and domain-specific effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(3), 688. Peterson & Peterson, 1959
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic bulletin & review*, 9(4), 637-671. Unsworth, Schrock, Engle, 2004
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: the contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of experimental psychology: General*, 132(1), 47.
- Keye, D., Wilhelm, O., Oberauer, K., & Van Ravenzwaaij, D. (2009). Individual differences in conflict-monitoring: testing means and covariance hypothesis about the Simon and the Eriksen Flanker task. *Psychological Research PRPF*, 73(6), 762-776.
- Lakatos, I. (1978). The methodology of scientific research programmes, vol. 1. *Philosophical Papers*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lewandowsky, S., & Farrell, S. (2008). Short-term memory: New data and a model. *Psychology of Learning and Motivation*, 49, 1-48. Longoni et al., 1993
- Lewandowsky, S., & Farrell, S. (2010). *Computational modeling in cognition: Principles and practice*. Sage Publications.

- Lewandowsky, S., Duncan, M., & Brown, G. D. (2004). Time does not cause forgetting in short-term serial recall. *Psychonomic bulletin & review*, 11(5), 771-790.
- Loaiza, V. M., & McCabe, D. P. (2012). Temporal-contextual processing in working memory: Evidence from delayed cued recall and delayed free recall tests. *Memory & Cognition*, 40(2), 191-203.
- Longoni, A. M., Richardson, J. T., & Aiello, A. (1993). Articulatory rehearsal and phonological storage in working memory. *Memory & Cognition*, 21(1), 11-22.
- Mall, J. T., Morey, C. C., Wolff, M. J., & Lehnert, F. (2014). Visual selective attention is equally functional for individuals with low and high working memory capacity: Evidence from accuracy and eye movements. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76(7), 1998-2014. Oberauer et al., 2003
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81. Oberauer et al. 2012
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81.
- Morra, S. (2015). How do subvocal rehearsal and general attentional resources contribute to verbal short-term memory span?. *Frontiers in psychology*, 6, 145.
- Morra, S., & Muscella, L. (2015). The Compound Stimuli Visual Information (CSVI) Task Revisited: Presentation Time, Probability Distributions, and Attentional Capacity Limits. In *EAPCogSci*.
- Morra, S. (2000). A new model of verbal short-term memory. *J. Exp. Child Psychol.* 75, 191-227.
- Oberauer, K., & Kliegl, R. (2006). A formal model of capacity limits in working memory. *Journal of Memory and Language*, 55(4), 601-626.
- Oberauer, K., & Lewandowsky, S. (2008). Forgetting in immediate serial recall: Decay, temporal distinctiveness, or interference?. *Psychological review*, 115(3), 544.
- Oberauer, K., Farrell, S., Jarrold, C., & Lewandowsky, S. (2016). What limits working memory capacity?. *Psychological Bulletin*, 142(7), 758.
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Farrell, S., Jarrold, C., & Greaves, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. *Psychonomic bulletin & review*, 19(5), 779-819. Oberauer et al., 2016
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Farrell, S., Jarrold, C., & Greaves, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. *Psychonomic bulletin & review*, 19(5), 779-819. Morey & Cowan, 2004
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Farrell, S., Jarrold, C., & Greaves, M. (2012). Modeling working memory: An interference model of complex span. *Psychonomic bulletin & review*, 19(5), 779-819.
- Olson, I. R., & Jiang, Y. (2002). Is visual short-term memory object based? Rejection of the "strong-object" hypothesis. *Perception & psychophysics*, 64(7), 1055-1067.
- Pascual-Leone, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages. *Acta psychologica*, 32, 301-345.
- Pascual-Leone, J., & Baillargeon, R. (1994). Developmental measurement of mental attention. *International Journal of Behavioral Development*, 17(1), 161-200.

- Pascual-Leone, J., & Johnson, J. (2005). A dialectical constructivist view of developmental intelligence. *Handbook of understanding and measuring intelligence*, 177-201.
- Pascual-Leone, J., & Johnson, J. (2005). A dialectical constructivist view of developmental intelligence. *Handbook of understanding and measuring intelligence*, 177-201.
- Pascual-Leone, J., & Johnson, J. (2011). Cognitive development and working memory: A dialogue between neo-Piagetian theories and cognitive approaches.
- Pascual-Leone, J., & Johnson, J. (2011). Cognitive development and working memory: A dialogue between neo-Piagetian theories and cognitive approaches.
- Phaf, R. H., & Wolters, G. (1993). Attentional shifts in maintenance rehearsal. *The American journal of psychology*, 353-382.
- Phaf, R. H., & Wolters, G. (1993). Attentional shifts in maintenance rehearsal. *The American journal of psychology*, 353-382.
- Piaget, J., Szeminska, a., (1941). La gènese du nombre chez l'enfant, *Neuchâtel, Delachaux et Niestlé*.
- Saults, J. S., & Cowan, N. (2007). A central capacity limit to the simultaneous storage of visual and auditory arrays in working memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(4), 663.
- Humphreys et al., 2010
- Tehan, G., & Lalor, D. M. (2000). Individual differences in memory span: The contribution of rehearsal, access to lexical memory, and output speed. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Section A*, 53(4), 1012-1038.
- Tehan, G., Fogarty, G., & Ryan, K. (2004). The contribution to immediate serial recall of rehearsal, search speed, access to lexical memory, and phonological coding: An investigation at the construct level. *Memory & cognition*, 32(5), 711-721.
- Tsubomi, H., Fukuda, K., Watanabe, K., & Vogel, E. K. (2013). Neural limits to representing objects still within view. *Journal of Neuroscience*, 33(19), 8257-8263.
- Vallar, G., & Baddeley, A. D. (1982). Short-term forgetting and the articulatory loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 34(1), 53-60.
- Vallar, G., & Baddeley, A. D. (1982). Short-term forgetting and the articulatory loop. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 34(1), 53-60.